



TUGAS AKHIR - SS141501

# PENERAPAN METODE OPTIMASI MULTIRESPON MENGUNAKAN HYBRID PCA-TAGUCHI DAN PCR- TOPSIS TAGUCHI PADA PENGURDIAN MATERIAL KOMPOSIT

CHUSNUL KHOTIMAH  
NRP 1311 100 006

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SS141501

# APPLICATION OF OPTIMIZATION MULTIRESPON METHOD USING HYBRID PCA-TAGUCHI AND PCR- TOPSIS TAGUCHI ON COMPOSITE MATERIAL DRILLING

CHUSNUL KHOTIMAH  
NRP 1311 100 006

Advisor Lecturer  
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

DEPARTMENT OF STATISTICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENERAPAN METODE OPTIMASI MULTIRESPON MENGUNAKAN *HYBRID* PCA-TAGUCHI DAN PCR-TOPSIS TAGUCHI PADA PENGGURDIAN MATERIAL KOMPOSIT

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Program Studi S-1 Jurusan statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**CHUSNUL KHOTIMAH**  
NRP. 1311 100 006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Dr. Muhammad Mashuri, MT.**

NIP. 19620408 198701 1 001

Mengetahui

**Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**



**Dr. Muhammad mashuri, MT.**

NIP. 19620408 198701 1 001

**SURABAYA, JANUARI 2015**

# **PENERAPAN METODE OPTIMASI MULTIRESPON MENGUNAKAN *HYBRID* PCA-TAGUCHI DAN PCR-TOPSIS TAGUCHI PADA PENGURDIAN MATERIAL KOMPOSIT**

Nama Mahasiswa : Chusnul Khotimah  
NRP : 1311 100 006  
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS  
Dosen pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, MT.

## **ABSTRAK**

*Penggunaan material komposit mengalami peningkatan yang signifikan. Kelebihan material komposit dibandingkan material konvensional adalah memiliki kekuatan yang tinggi dengan berat yang rendah, formability, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan arah kekuatan dapat dikendalikan. Proses gudi merupakan proses pemessinan yang dilakukan pada material komposit. Kinerja dari proses gudi pada material komposit dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas. Penelitian dilakukan pada proses penggurdian dengan menggunakan material komposit. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode hybrid PCA-Taguchi yang dibandingkan dengan PCR-TOPSIS Taguchi. Dari hasil penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan metode hybrid PCA-Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$  dengan kecepatan putaran spindel 1250 rpm, gerak makan 0,07 mm per putaran dan sudut ujung pahat  $135^\circ$ . Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang sama. Dengan karakteristik kualitas smaller the better, dengan menggunakan metode hybrid PCA-Taguchi didapatkan hasil yang lebih baik berdasarkan persentase kontribusi eror dan koefisien determinasi.*

**Kata Kunci : Hybrid PCA-Taguchi, Material Komposit, Mesin Gudi, Optimasi, PCR-TOPSIS Taguchi**





# APPLICATION OF OPTIMIZATION MULTIRESPON METHOD USING HYBRID PCA-TAGUCHI AND PCR-TOPSIS TAGUCHI ON COMPOSITE MATERIAL DRILLING

Name of Student : Chusnul Khotimah  
ID : 1311 100 006  
Department : Statistika FMIPA-ITS  
Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, MT.

## ABSTRACT

*The use of composite materials has increased significantly. Excess composite material compared to conventional material is high strength with low weight, formability, corrosion resistance, wear resistance, strength and direction can be controlled. Drilling process is machining processes performed on composite materials. The performance of the drilling in the composite material can be evaluated based on some quality characteristics. The research was conducted on the drilling process using composite materials. Optimization is done by using hybrid PCA-Taguchi method were compared with PCR-TOPSIS Taguchi . From the results of this study showed that using hybrid PCA-Taguchi method optimum conditions can be achieved in combination with the level  $A_3B_1C_3$  spindle rotation speed of 1250 rpm, the motion eat 0.07 mm per rotation and angle of  $135^\circ$  chisel tip. While using the PCR-TOPSIS Taguchi method optimum conditions can be achieved in combination with the same level. With the smaller the better quality characteristics, using a hybrid PCA-Taguchi method be obtained better results based on the s the contribution of error and the coefficient of determination.*

**Keywords :** *Hybrid PCA-Taguchi, Composite Materials, Machinery Drillings, Optimization, PCR-TOPSIS Taguchi*



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Penerapan Metode Optimasi Multirespon Menggunakan *Hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi pada Penggurdian Material Komposit”** ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya. Penulisan laporan Tugas Akhir ini belum sempurna (tak ada gading yang tak retak), karena kesempurnaan hanya milik sang Pencipta, oleh karena itu penulisan mengharapakan kritik dan saran bagi pembaca untuk mendapatkan hasil yang lebih baik di kemudian hari.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak akan berjalan dengan lancar tanpa bantuan dan dukungan beberapa pihak, oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir sekaligus Ketua Jurusan Statistika FMIPA ITS yang telah membimbing dan memberi arahan untuk tugas akhir ini.
2. Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.si., M.Si. dan Ibu Sri Mumpuni Retnaningsih, MT. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
3. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moril dan materiil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.
4. Mas Randi Rifalda, Mahasiswa Teknik Mesin ITS yang telah mengizinkan data hasil penelitiannya untuk saya analisis pada Tugas Akhir ini.



5. Ayak, Dova, Bernadeta, dan Kartika yang telah menjadi sahabat terbaik selama kuliah (*Best Friend Forever*).
6. Teman-teman Statistika angkatan 2011 (Reta, Rizky Hildalia, Risma, Indah dan lain-lain) yang selama hampir 4 empat tahun menjalani kuliah bersama-sama.
7. Pengurus Harian dan Kadiv HIMASTA-ITS 13/14 yang selalu mendukung dan melengkapi cerita indah penulis selama kuliah.
8. Keluarga IECC BEM ITS 12/13, Laskar Sosmas HIMASTA-ITS 12/13 dan 13/14, Tim Pemandu FMIPA-ITS, Tim Pemandu Merah Putih LKMM TM ITS 2014 dan Tim Pemandu Berarti LKMM TM ITS 2015 yang selalu mendukung dan melengkapi cerita indah penulis selama kuliah.
9. Teman-teamn Pejuang 11 (Alumni SMAN 1 kedungwaru angkatan 2011 yang study di ITS), terima kasih atas supportnya. Ukirlah kenangan manis kawan dan bawalah nama baik Tulungagung di ITS.
10. Semua teman, relasi, dan berbagai pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu per satu yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan dari semua pihak untuk tahap pengembangan selanjutnya. Besar harapan penulis bahwa informasi sekecil apapun dalam Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menambah wawasan serta pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>TITLE PAGE.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Uji Korelasi .....	9
2.2 Metode Taguchi .....	9
2.3 <i>Orthogonal Array</i> (OA).....	11
2.4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA).....	11
2.5 Persen Kontribusi.....	14
2.6 Interval Kepercayaan Taksiran SNR Respon pada Kondisi Optimum .....	15
2.7 Analisis Komponen Utama .....	16
2.8 <i>Process Capability Ratio Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (PCR-TOPSIS).....	18
2.9 Material Komposit.....	21
2.10 Proses Gurdi` .....	21
2.11 Delaminasi.....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Sumber Data.....	25

3.2 Variabel Penelitian .....	25
3.3 Rancangan Percobaan.....	26
3.4 Langkah-langkah Penelitian .....	28
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Uji Korelasi antar Respon .....	33
4.2 Optimasi Multirespon dengan Metode <i>Hybrid</i> PCA- Taguchi .....	34
4.2.1 Normalisasi Data Respon.....	34
4.2.2 Menghitung <i>Principal Component</i> .....	37
4.2.3 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Hasil PCA-Taguchi .....	40
4.2.4 Penentuan Kondisi Optimum.....	43
4.2.5 Taksiran Nilai Kondisi Optimum Setiap Respon.....	45
4.2.6 Interval Kepercayaan Taksiran Respon pada Kondisi Optimum dengan <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi .....	46
4.3 Optimasi Multirespon dengan Metode PCR-TOPSIS Taguchi.....	49
4.3.1 Transformasi Nilai Respon ke SNR .....	50
4.3.2 Menghitung PCR berdasarkan SNR dari Setiap Variabel Respon.....	51
4.3.3 Menghitung Nilai TOPSIS dari Hasil PCR-SNR.....	52
4.3.4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Hasil PCR-TOPSIS .....	54
4.3.5 Penentuan Kondisi Optimum.....	57
4.3.6 Taksiran Nilai Kondisi Optimum Setiap Respon.....	59
4.3.7 Interval Kepercayaan Taksiran Respon pada Kondisi Optimum dengan PCR-TOPSIS Taguchi.....	60
4.4 Perbandingan Hasil Analisis Metode PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi .....	63
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>73</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>93</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> ANOVA ( <i>Analysis of Variance</i> ).....	12
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Bebas Penelitian.....	26
<b>Tabel 3.2</b> Desain Taguchi dari Rancangan Percobaan.....	27
<b>Tabel 3.3</b> Struktur Data dari Rancangan Percobaan.....	28
<b>Tabel 4.1</b> Nilai Korelasi antar Respon.....	34
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Perhitungan Nilai Rata-Rata tiap Pengamatan.....	35
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Maksimum dan Minimum Masing-Masing Respon.....	36
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Normalisasi Data Respon.....	37
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Eigen Value dan Eigen Vektor ....	38
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan <i>Principal Component</i> .....	39
<b>Tabel 4.7</b> Hasil <i>Composite Principal Component</i> dan SNR.....	39
<b>Tabel 4.8</b> <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Hasil <i>Hybrid PCA</i> -Taguchi .....	40
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Mean Setiap Level.....	43
<b>Tabel 4.10</b> Nilai Taksiran Optimum untuk Setiap Respon.....	45
<b>Tabel 4.11</b> ANOVA untuk Respon Gaya Tekan.....	46
<b>Tabel 4.12</b> ANOVA untuk Respon Gaya Tekan setelah Digabung ( <i>Pooling</i> ).....	46
<b>Tabel 4.13</b> ANOVA untuk Respon Momen Torsi .....	47
<b>Tabel 4.14</b> ANOVA untuk Respon Delaminasi.....	48
<b>Tabel 4.15</b> ANOVA untuk Respon Delaminasi setelah Digabung ( <i>Pooling</i> ).....	49
<b>Tabel 4.16</b> Hasil Perhitungan SNR pada Masing-Masing Variabel Respon.....	50
<b>Tabel 4.17</b> Hasil Perhitungan Rata-Rata, Varians, dan Standart Deviasi Sampel.....	52
<b>Tabel 4.18</b> Hasil Perhitungan PCR-SNR pada Masing-Masing Respon.....	52
<b>Tabel 4.19</b> Hasil Perhitungan Nilai TOPSIS .....	53
<b>Tabel 4.20</b> Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS .....	54
<b>Tabel 4.21</b> ANOVA dari Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS .....	54



<b>Tabel 4.22</b> Nilai Mean Setiap Level .....	58
<b>Tabel 4.23</b> Nilai Taksiran Optimum untuk Setiap Respon .....	59
<b>Tabel 4.24</b> ANOVA untuk Respon Gaya Tekan .....	60
<b>Tabel 4.25</b> ANOVA untuk Respon Gaya Tekan setelah Digabung ( <i>Pooling</i> ).....	60
<b>Tabel 4.26</b> ANOVA untuk Respon Momen Torsi.....	61
<b>Tabel 4.27</b> ANOVA untuk Respon Delaminasi .....	62
<b>Tabel 4.28</b> ANOVA untuk Respon Delaminasi setelah Digabung ( <i>Pooling</i> ).....	63
<b>Tabel 4.29</b> Perbandingan Nilai Optimum <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi .....	64
<b>Tabel 4.30</b> Perbandingan <i>Confidence Interval Hybrid</i> PCA- Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi.....	65

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Elemen Dasar Proses Gurdi .....	22
<b>Gambar 2.2</b> Skema Delaminasi pada Komposit Laminat .....	23
<b>Gambar 2.3</b> Ilustrasi dari Skema Pengukuran Faktor Delaminasi .....	23
<b>Gambar 4.1</b> <i>Main Efek Plot</i> Respon SN <i>Composite Principal Component</i> )Hybrid PCA-Taguchi.....	43
<b>Gambar 4.2</b> Boxplot Nilai Mean Masing-Masing Faktor Level.....	45
<b>Gambar 4.3</b> <i>Main Efek Plot</i> Respon PCR TOPSIS .....	57
<b>Gambar 4.4</b> Boxplot Nilai Mean Masing-Masing Faktor Level.....	58







# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Metode statistika telah banyak dikembangkan dan digunakan pada berbagai bidang. Salah satu bidang yang sering menerapkannya ialah bidang optimasi untuk mengambil keputusan yaitu memilih yang terbaik dari berbagai pilihan berdasarkan kriteria tertentu. Kriteria yang umum digunakan yaitu memaksimalkan atau meminimumkan sesuatu. Metode statistika yang biasa diterapkan untuk optimasi adalah Taguchi. Taguchi menjadi salah satu metode desain eksperimen yang cukup mendunia, karena pertimbangan keefektifan dan keefesienannya (Belavendram,1995). Taguchi menggunakan perancangan eksperimen sebagai alat untuk membuat produk lebih *robust*, yakni produk menjadi tidak terpengaruh terhadap faktor *noise*. Penggunaan metode Taguchi dalam desain eksperimen berdasarkan pada *Orthogonal Array* (OA) dalam rangka mendapatkan jumlah maksimum informasi dengan percobaan minimal. Selain itu, juga dapat menganalisis data eksperimen berdasarkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) (Park,1996). *Orthogonal Array* (OA) adalah suatu matriks yang elemen-elemennya tersusun atas baris dan kolom. Baris merupakan kombinasi level dan faktor dalam eksperimen. Setiap kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep, yaitu kualitas harus dirancang ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya, kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus dirancang agar kokoh (*robust*) terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol, biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem (Ross,1996).

Hingga saat ini, pengembangan Taguchi masih menjadi topik penelitian yang tetap hangat dibicarakan. Modifikasi Taguchi beserta kombinasinya menjadi alternatif baru dalam

bidang optimasi. *Responsurface* menjadi pembuka awal metode optimasi (Box & Draper, 1987), yang selanjutnya diikuti oleh Taguchi yang cukup fenomenal. Taguchi telah mematahkan berbagai asumsi statistik klasik yang melekat pada *responsurface*. Dalam perkembangannya, Taguchi lebih banyak mendominasi penerapan di berbagai perusahaan (Park, 1996). Selain itu, penelitian tentang modifikasi Taguchi juga semakin melengkapi kefenomenalannya (Yeniay, 2001) . Yildiz, *et al.* (2007) melibatkan *Genetic Algorithm* dalam proses optimasinya. Sukhtomya & Tannock (2005) dan Sanjari, *et al.* (2009) juga memodifikasi Taguchi dari sisi ketepatan prediksinya menggunakan *Artificial Neural Networks*.

Ketika berhadapan dengan persoalan multirespon pada eksperimen Taguchi, penyelesaian secara parsial untuk masing-masing respon menjadi tidak efektif dan menimbulkan kombinasi level parameter optimal yang tidak konsisten antar respon. Tong & Su, (1997) memperkenalkan optimasi Taguchi multirespon yang dikombinasikan dengan TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yang kemudian dikembangkan lagi menjadi PCR-TOPSIS, yaitu suatu metode Taguchi yang dikombinasikan dengan PCR (*Process Capability Ratio*) dan TOPSIS. Datta, *et al.* (2009) juga memperkenalkan optimasi Taguchi yang dikombinasikan dengan metode lain yaitu metode statistika multivariate *Principal Component Analysis* (PCA) dan disebut sebagai metode *hybrid* PCA-Taguchi.

Dalam bidang industri optimasi digunakan agar suatu proses berjalan dengan efektif dan menghasilkan hasil yang maksimum. Dalam perkembangan teknologi industri terutama industri manufaktur, penggunaan material yang memiliki sifat-sifat istimewa seperti komposit sudah mengalami peningkatan yang cukup signifikan, seperti pada industri pembuatan pesawat terbang, *automobile*, dan perlengkapan militer. Kelebihan material komposit dibandingkan material konvensional adalah memiliki kekuatan yang tinggi dengan berat yang rendah, *formability*, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan arah kekuatan

dapat dikendalikan. Material komposit merupakan suatu jenis bahan baru yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing berbeda satu sama lainnya, baik itu sifat kimia maupun fisiknya, dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit) (Callister, 2004).

Proses pemesinan yang sering dilakukan pada material komposit adalah proses gurdi. Proses gurdi merupakan proses pemesinan yang menghasilkan lubang silindris pada benda kerja logam ataupun non-logam untuk proses perakitan antara satu komponen dengan komponen lainnya. Proses gurdi menjadi bagian yang penting karena banyak digunakan dalam dunia industri. Proses gurdi memberikan sumbangan yang cukup besar pada proses pemesinan dan biaya produksi.

Kinerja dari proses gurdi pada material komposit dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti kekasaran permukaan, keausan tepi pahat, dan ketinggian *burr*. Selain itu, gaya tekan, torsi, dan delaminasi yang terjadi pada *entry* dan *exit* lubang hasil penggurdian juga dapat digunakan untuk mengevaluasi proses gurdi. Oleh karena itu, ukuran-ukuran kinerja tersebut juga dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja dari proses gurdi.

Pada proses pemesinan secara umum, ukuran-ukuran kinerja tersebut biasanya juga dijadikan respon yang merupakan fungsi dari parameter-parameter proses atau faktor. Khusus pada proses gurdi, tiga faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas ataupun ukuran-ukuran kinerja adalah kecepatan putaran spindle, gerak makan, dan sudut ujung pahat (Rifalda, 2014).

Ranganathan, *et al.* (2012) meneliti pengaruh dari faktor proses yang berupa gerak makan dan kecepatan putar spindle terhadap respon kualitas permukaan, delaminasi, gaya tekan, dan torsi pada proses penggurdian benda kerja komposit *glass fibre-reinforced polymer* (GFRP). Metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi yang digabungkan dengan GRA. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa gerak makan memiliki kontribusi sebesar 76,3% dan kecepatan putar spindle memiliki kontribusi



sebesar 22,7% untuk mengurangi variasi terhadap respon secara serentak. Pengaturan kombinasi faktor yang tepat untuk meminimalkan respon secara serentak adalah gerak makan diatur pada 0,16 mm/putaran dan kecepatan putar spindel diatur pada 1200 rpm.

Vankanti, *et al.* (2013) meneliti pendekatan untuk optimasi parameter proses gurdi pada penggurdian *glass fibre reinforced polymer* (GFRP) dengan banyak respon berdasarkan metode Taguchi dengan rancangan percobaan *orthogonal array* L<sub>9</sub>. Parameter proses yang digunakan adalah kecepatan putaran spindel (500, 1000, dan 1500 rpm), gerak makan (0.02, 0.04, dan 0.06 mm/rev), sudut ujung pahat (85°, 90°, dan 95°), dan lebar *chisel edge* (0.8, 1.3, dan 1.6 mm). Proses penggurdian menggunakan pahat *twist drill* HSS dengan diameter 10 mm. Respon yang diamati adalah kekasaran permukaan, gaya tekan, torsi, dan kebulatan. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan putaran spindel memiliki kontribusi sebesar 35.21%, gerak makan sebesar 35.61%, sudut ujung pahat sebesar 27.31%, dan lebar *chisel edge* 11.88% terhadap respon kekasaran permukaan. Respon terbaik diperoleh pada saat kecepatan putaran spindel 500 rpm, gerak makan 0.04 mm/rev, sudut ujung pahat 95°, dan lebar *chisel edge* 0.8 mm. Namun, pada respon kebulatan menunjukkan kecepatan putaran spindel memiliki kontribusi sebesar 55.95%, gerak makan sebesar 11.87%, sudut ujung pahat sebesar 12.29%, dan lebar *chisel edge* 19.89%. Respon terbaik diperoleh pada saat kecepatan putaran spindel 1500 rpm, gerak makan 0.06 mm/rev, sudut ujung pahat 95°, dan lebar *chisel edge* 0.8 mm.

Sebenarnya, banyak metode Taguchi yang telah digunakan untuk mengoptimasi suatu respon terutama yang memiliki lebih dari satu respon (multirespon). Diantaranya metode *Data Envelopment Analysis* (DEA) formula agresif, *Hybrid Principal Component Analysis* PCA-Taguchi serta PCR-TOPSIS. Penelitian tentang DEA formula agresif oleh Rochmah (2012) yang digunakan untuk mendapatkan nilai yang optimum dari nilai kekasaran permukaan, tebal lapisan *recast*, lebar



pemotongan dan waktu pengerjaan secara bersama. Selanjutnya, penelitian tentang *hybrid* PCA-Taguchi telah dilakukan oleh Arbi (2012) optimasi dengan dua respon yaitu laju pemakanan material (MRR) dan kekasaran permukaan ( $R_a$ ) secara serentak pada proses *turning* material polyacetal. Metode *hybrid* PCA-Taguchi memiliki kelebihan yaitu baik digunakan pada saat terdapat banyak variabel respon. PCA juga dapat menghilangkan multikolinearitas antar respon dan mengubah korelasi antar respon ke dalam indeks kualitas yang tidak berkorelasi yang disebut komponen utama. (Datta, 2009). Sedangkan metode PCR-TOPSIS Taguchi telah dilakukan penelitian tentang optimasi Taguchi multirespon (ketebalan, daya tembus, dan kekasaran) oleh John (2014). Metode ini didasarkan pada PCR (*Process Capability Ratio*) teori dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi dapat diperoleh solusi yang terbaik dan dapat menghasilkan solusi yang memuaskan untuk masalah multirespon.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan dua metode optimasi multirespon antara *hybrid* PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi mengenai pengaturan faktor-faktor pemesinan gurdi pada material komposit polimer yang diperkuat serat gelas (GFRP) untuk mengoptimalkan gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan penelitian berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kombinasi level faktor yang mengoptimalkan respon pada mesin gurdi dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi ?
2. Bagaimana kombinasi level faktor yang mengoptimalkan respon pada mesin gurdi dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi ?

3. Berdasarkan kedua metode yang telah digunakan, metode mana yang terbaik untuk digunakan dalam menentukan kombinasi level faktor pada penerapan multirespon ?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan kombinasi level faktor yang mengoptimalkan gaya tekan, torsi, dan delaminasi secara serentak dengan metode *hybrid* PCA-Taguchi.
2. Mendapatkan kombinasi level faktor yang mengoptimalkan gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi secara serentak dengan metode PCR-TOPSIS Taguchi.
3. Mengetahui metode mana yang terbaik untuk mendapatkan kombinasi level faktor yang mengoptimalkan gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi secara serentak.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Dapat digunakan sebagai referensi oleh perusahaan-perusahaan manufaktur untuk membantu menentukan parameter-parameter proses secara tepat yang sesuai dengan material benda kerja yang akan dikerjakan.
2. Dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan analisis gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi pada proses gurdi.
3. Dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya yang berkaitan dengan proses gurdi dalam rangka perkembangan pengetahuan tentang optimasi parameter-parameter proses gurdi.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan agar penelitian dapat berjalan secara terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah data dari penelitian yang dilakukan oleh Randi Rifalda (2112106041), mahasiswa jurusan Teknik Mesin ITS.
2. Respon yang digunakan untuk diamati adalah gaya tekan, torsi, dan delaminasi.
3. Bahan benda kerja adalah bahan komposit polimer yang diperkuat serat gelas (*glass fiber reinforced polymer*).

Selain itu digunakan pula asumsi-asumsi untuk menyederhanakan penyelesaian kasus yang diteliti, yaitu :

1. Faktor-faktor yang tidak diteliti dianggap selalu konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil penelitian.
2. Tidak ada interaksi antar faktor.
3. Mesin bekerja dalam kondisi baik.
4. Alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Terdapat beberapa bahasan pada bab tinjauan pustaka, yaitu pembahasan mengenai uji korelasi, metode Taguchi, *Orthogonal Array* (OA), *Analysis of Variance* (ANOVA), persentase kontribusi, interval kepercayaan taksiran respon pada kondisi optimum, *principal component analysis* atau yang biasa disebut dengan analisis komponen utama, *Process Capability Ratio* *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (PCR-TOPSIS), material komposit, mesin gurdi dan delaminasi.

#### **2.1 Uji Korelasi**

Koefisien korelasi adalah ukuran keeratan hubungan dua peubah. Koefisien korelasi untuk polulasi dinyatakan dengan  $\rho$ . Adapun rumus untuk menghitung koefisien korelasi adalah sebagai berikut (Walpole, 1995).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (2.1)$$

Dengan,

$\bar{x}$  : rata-rata sampel untuk variabel yang pertama

$s_x$  : standart deviasi untuk sampel yang pertama

$\bar{y}$  : rata-rata sampel untuk variabel yang kedua

$s_y$  : standart deviasi untuk sampel yang kedua

$n$  : jumlah data

#### **2.2 Metode Taguchi**

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru di bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses sekaligus menekan biaya dan sumber daya (Soejanto, 2009). Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut

dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti: material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat kokoh (*robust*) terhadap faktor-faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu metode Taguchi juga disebut perancangan kokoh (*robust design*). Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep utama, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk, sehingga tidak hanya cukup dengan memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sedemikian, sehingga kokoh (*robust*) terhadap faktor lingkungan.
3. Kualitas harus diukur sebagai fungsi dari deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan desain eksperimen yang dapat merancang suatu produk dan proses yang kokoh terhadap kondisi lingkungan, mengembangkan kualitas produk yang kokoh terhadap variasi komponen, dan meminimalkan variasi di sekitar target. Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009):

1. Metode Taguchi lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Metode Taguchi dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Metode Taguchi dapat menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Namun demikian, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks. Metode ini juga memiliki

rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

### 2.3 *Orthogonal Array (OA)*

*Orthogonal Array (OA)* merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain. Pemilihan jenis *Orthogonal Array (OA)* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total (Park, 1996). Penentuan derajat bebas berdasarkan pada :

1. Jumlah faktor utama yang diamati
2. Jumlah level dari faktor yang diamati
3. Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya

Bentuk umum dari *Orthogonal Array (OA)* standart tiga level adalah sebagai berikut.

$$L_{3^m} (3^{(3^m-1)/2}) \quad (2.2)$$

Dengan,

$m$  : bilangan positif yang lebih dari 1

$3^m$  : banyaknya eksperimen yang dilakukan

3 : banyaknya level dari setiap faktor

$(3^m-1)/2$  : banyaknya kolom dari *Orthogonal Array (OA)*

### 2.4 *Analysis of Variance (ANOVA)*

*Analysis of Variance (ANOVA)* adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi setiap faktor pada semua pengukuran respon. ANOVA pada parameter *design* berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Dalam ANOVA dilakukan pemecahan total variasi percobaan ke dalam sumber-sumber variasi yang diamati yaitu komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar faktor utama (Fowlkes, 1995).



Percobaan dalam rancangan yang menggunakan 3 faktor yaitu faktor A, faktor B, dan faktor C diuji dengan sebaran F, yaitu dengan menghitung rasio rata-rata jumlah kuadrat *error* ( $MS_E$ ) yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari faktor. Tabel ANOVA dapat disusun sebagai berikut.

**Tabel 2.1** ANOVA (*Analysis of Variance*)

<i>Source of variance</i>	<i>Sum of square</i>	<i>Degrees of freedom</i>	<i>Mean square</i>	F-Hitung
A	SS-A	$\nu_A$	$MS_A$	F-A hitung
B	SS-B	$\nu_B$	$MS_B$	F-B hitung
C	SS-C	$\nu_C$	$MS_C$	F-C hitung
Error	SS-Error	$\nu_E$	$MS_e$	
Total	SS-Total	$\nu_T$		

Dengan,

$$SS_A = \frac{(total A_1)^2 + (total A_2)^2 + (total A_3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

$$SS_B = \frac{(total B_1)^2 + (total B_2)^2 + (total B_3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

$$SS_C = \frac{(total C_1)^2 + (total C_2)^2 + (total C_3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \quad (2.5)$$

$$SS_{error} = \sum e_i^2 \quad (2.6)$$

$$SS_{total} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_{error} \quad (2.7)$$

$A_1$  : Faktor A level 1

$A_2$  : Faktor A level 2

$A_3$  : Faktor A level 3

$B_1$  : Faktor B level 1

$B_2$  : Faktor B level 2

$B_3$  : Faktor B level 3

$C_1$  : Faktor C level 1

$C_2$  : Faktor C level 2

$C_3$  : Faktor C level 3

$T^2$  : Kuadrat jumlah keseluruhan respon pada level 1,2 dan 3



$N$  : jumlah total percobaan

$n$  : jumlah total pengamatan pada faktor tertentu

$v_A$  : derajat bebas faktor A yaitu  $(a - 1)$

$v_B$  : derajat bebas faktor B yaitu  $(b - 1)$

$v_C$  : derajat bebas faktor C yaitu  $(c - 1)$

$v_T$  : derajat bebas total yaitu  $(N - 1) - (a - 1) - (b - 1) - (c - 1)$

Hasil analisis variansi tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam eksperimen. Pembuktian ini dilakukan melalui uji distribusi F. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah :

$H_0$  gagal ditolak mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan  $H_0$  mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Selain itu, karena respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijkl} \quad (2.8)$$

maka hipotesis yang juga dapat digunakan dalam pengujian ini adalah:

- 1) Untuk taraf faktor A

$H_0$  :  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_k = 0$ .

$H_1$  : salah satu  $\alpha_i$  tidak sama dengan 0.

- 2) Untuk taraf faktor B

$H_0$  :  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ .

$H_1$  : salah satu  $\beta$  tidak sama dengan 0.

- 3) Untuk taraf faktor C

$H_0$  :  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \dots = \gamma_k = 0$ .

$H_1$  : salah satu  $\gamma$  tidak sama dengan 0.

Gagal tolak  $H_0$  mengindikasikan tidak adanya pengaruh sedangkan penolakan  $H_0$  mengindikasikan adanya pengaruh

faktor A, B, dan C terhadap respon. Gagal Tolak atau penolakan  $H_0$  didasarkan pada nilai  $F_{hitung}$  yang dirumuskan:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \quad (2.9)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \quad (2.10)$$

$$\text{Untuk taraf faktor C} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_C}{MS_E} \quad (2.11)$$

Penolakan  $H_0$  pada masing-masing dilakukan jika mengalami kondisi berikut.

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, \nu_A, \nu_E} \quad (2.12)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, \nu_B, \nu_E} \quad (2.13)$$

$$\text{Untuk taraf faktor C} \rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, \nu_C, \nu_E} \quad (2.14)$$

Penolakan  $H_0$  juga dilakukan apabila nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari dua (Park, 1996), tanpa memperhatikan rumusan di atas.

## 2.5 Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persentase kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persentase kontribusi adalah faktor, interaksi faktor, dan *error*. Persentase kontribusi suatu faktor A ( $\rho_A$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ross, 1996).

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (2.15)$$

Dengan,

$$SS'_A = SS_A - v_A \cdot MS_E \quad (2.16)$$

Dengan,

$SS_A$  : jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

$SS_T$  : jumlah kuadrat total

$v_A$  : derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

$MS_E$  : rata-rata kuadrat dari faktor *error*

Jika persentase kontribusi *error* kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semuanya. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar.

## 2.6 Interval Kepercayaan Taksiran Respon pada Kondisi Optimum

Pada setiap proses optimasi, menghasilkan kondisi yang lebih baik (optimum) merupakan tujuan utama. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembuktian bahwa proses optimasi yang dilakukan telah berhasil dengan mengetahui respon saat kombinasi level faktor yang diduga dapat mengoptimalkan respon diterapkan. Pembuktian tersebut dapat dilakukan dengan mengetahui taksiran nilai rata-rata respon pada kondisi optimum yang dihasilkan melalui interval keyakinannya. Interval keyakinan dugaan rata-rata respon dengan taraf keyakinan  $(1 - \alpha) \times 100\%$  dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Ross, 1996).

$$\hat{\mu} - CI \leq \mu \leq \hat{\mu} + CI \quad (2.17)$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha, 1, df_{error}} \cdot MSE}{n_{eff}}} \quad (2.18)$$

Dengan  $\hat{\mu}$  merupakan dugaan rata-rata respon pada kondisi optimum.  $F_{\alpha, 1, df_{Error}}$  merupakan nilai distribusi F pada



taraf nyata  $\alpha$  dengan derajat bebas 1 dan derajat bebas dari *error*. Sedangkan  $n_{eff}$  adalah banyaknya pengamatan efektif yang diperoleh dari persamaan (2.18) (Belavendram, 1995).

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{Jumlah derajat bebas dalam estimasi mean}} \quad (2.19)$$

## 2.7 Analisis Komponen Utama

Analisis komponen utama atau *Principal Component Analysis* (PCA) adalah sebuah prosedur matematika yang mentransformasikan secara *orthogonal* multi-variabel yang diduga berkorelasi satu sama lain, menjadi multi-komponen (*principal component*) baru yang tidak saling berkorelasi. *Principal component* baru tersebut merupakan kombinasi linier dari multi-variabel sebelumnya, yang banyaknya lebih sedikit atau sama dengan banyaknya multi-variabel itu.

Analisis PCA diawali dengan melakukan normalisasi pada variabel, menggunakan formula yang diadopsi dari *Grey Relational Analysis* untuk menskalakan data pada *range* antara nol dan satu (Chiang, *et al.*, 2009).

Jika target variabel semula adalah *larger-the-better*, normalisasi data adalah sebagai berikut.

$$y_i^*(j) = \frac{y_i(j) - \min y_i(j)}{\max y_i(j) - \min y_i(j)} \quad (2.20)$$

Jika target variabel semula adalah *smaller-the-better*, maka :

$$y_i^*(j) = \frac{\max y_i(j) - y_i(j)}{\max y_i(j) - \min y_i(j)} \quad (2.21)$$

Jika target variabel semula adalah *nominal-the-best*, maka :

$$y_i^*(j) = 1 - \frac{|y_i(j) - T|}{\max \{ \max y_i(j) - T, T - \min y_i(j) \}} \quad (2.22)$$

Dengan,

$y_i^*(j)$  : Data hasil normalisasi respon ke  $j$  pada percobaan ke  $i$



$y_i(j)$  : Data yang diamati untuk respon ke  $j$  pada percobaan ke  $i$

$T$  : nilai target

Jika multi variabel adalah respon eksperimen Taguchi, maka respon-respon tersebut selanjutnya disusun dalam matriks varians-kovarians  $M$ , yaitu sebagai berikut.

$$M = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1j} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{j1} & \sigma_{j2} & \dots & \sigma_{jj} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Eigenvektor  $\vec{V}_j$  dan eigenvalue  $\lambda_j$  dihitung dari matriks  $M$ .

Eigenvektor  $\vec{V}_j$  merupakan faktor pembobot untuk  $j$  respon di dalam *principal component* ke- $j$ . Jika  $Q_j$  adalah respon ke- $j$  maka *principal component* ke- $j$  atau ditulis sebagai  $\Psi_j$  merupakan kombinasi linier sebagai berikut.

$$\psi_j = V_{1j}Q_1 + V_{2j}Q_2 + \dots + V_{jj}Q_j \quad (2.24)$$

Setiap *principal component*  $\Psi_j$  memberikan derajat penjelasan relative terhadap variasi keseluruhan respon (Datta, *et al*, 2009). Satu variabel yang dapat mewakili semua *principal component*  $\Psi_j$  adalah *composite principal component* yang dapat diperoleh dengan :

$$\psi_i = \sqrt{(\psi_{1j}^2 + \psi_{2j}^2 + \dots + \psi_{jj}^2)} \quad (2.25)$$

Dimana  $i$  adalah nomor eksperimen (percobaan). *Composite principal component* inilah respon tunggal yang mewakili kondisi multirespon.

## 2.8 *Process Capability Ratio Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (PCR-TOPSIS)*

PCR (*Process Capability Ratio*) merupakan kemampuan sebuah proses untuk memenuhi spesifikasi desain yang ditetapkan oleh permintaan konsumen, walaupun sebuah proses terkendali secara statistik. Bagi sebuah proses untuk dapat dikatakan mampu, nilainya harus berada diantara spesifikasi atas dan bawah. Hal ini berarti kemampuan proses berada dalam  $\pm 3$  standar deviasi dari rata-rata proses. Karena rentangan nilai adalah 6 standar deviasi, maka toleransi sebuah proses yang mampu yaitu perbedaan anatar spesifikasi atas dan bawah harus lebih besar atau sama dengan 6.

$$PCR = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (2.26)$$

Dengan,

USL : *Upper Specification Limit* atau Batas Spesifikasi atas

LSL : *Lower Specification Limit* atau Batas Spesifikasi bawah

S : Sampel Standar Deviasi

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat melihat bahwa jika  $PCR > 1$  maka proses yang dilakukan baik (*Capable*),  $PCR = 1$  maka proses sesuai dengan spesifikasi konsumen,  $PCR < 1$  maka proses yang dilakukan tidak baik (*Not Capable*). Jika  $PCR < 1$  maka proses menghasilkan produk atau jasa berada di luar toleransi yang diperbolehkan. Semakin tinggi rasio kemampuan proses, semakin besar kecenderungan proses berada dalam spesifikasi yang diinginkan. Banyak perusahaan telah memilih  $PCR = 1,33$  sebagai target untuk mengurangi variabel proses. PCR berkaitan dengan penyebaran *output* proses relatif terhadap toleransinya, PCR tidak melihat seberapa baik rata-rata sebuah proses berada di tengah nilai target.

*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) didasarkan pada konsep dimana alternatif terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal

negatif (Hwang & Yoon, 1981). Dalam metode TOPSIS tidak terdapat batasan mengenai jumlah atribut dan alternatif yang digunakan, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu kasus yang memiliki atribut kuantitatif dengan lebih efisien (Rao, 2004).

Metode TOPSIS banyak digunakan untuk menyelesaikan pengambilan keputusan secara praktis. Hal ini disebabkan konsepnya sederhana dan mudah dipahami, komputasinya efisien, dan memiliki kemampuan mengukur kinerja relatif dari alternatif-alternatif keputusan. Kelebihan lain dari metode TOPSIS adalah dapat diketahui urutan optimasi dari berbagai alternatif percobaan yang ada. Jika dalam pemilihan eksperimen diinginkan secara objektif maka pembobotan merupakan salah satu kriteria terpenting yang harus dilakukan secara *unbiased* sebelum menerapkan prosedur optimasi bersama (Srdjevic, et al, 2004).

Langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan optimasi dengan PCR-TOPSIS diawali dengan menghitung *Signal to Noise Ratio* (SNR). Dalam langkah ini,  $\eta_j^i$  (SNR untuk respon ke  $j$  pada percobaan ke  $i$  dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, m$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) dihitung dengan tiga rumus sebagai berikut.

Untuk karakteristik respon *smaller the better*, maka :

$$= -10 \log_{10} \left( \frac{115,7^2 + 99,17^2}{2} \right) \quad (2.27)$$

Untuk karakteristik respon *larger the better*, maka :

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \frac{1}{(y_{jk}^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i < \infty \quad (2.28)$$

Untuk karakteristik respon *nominal is best*, maka :

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[ \frac{(\bar{y}_j^i)^2}{(S_j^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i < \infty \quad (2.29)$$

dengan,

$y_{jk}^i$  : Data yang diamati untuk respon ke- $j$  pada percobaan ke  $i$  dan  $k$  pengulangan



$\bar{y}_j^i$  : Rata-rata data yang diamati untuk respon ke- $j$  pada percobaan ke- $i$

$(S_j^i)^2$  : Variasi data yang diamati untuk respon ke- $j$  pada percobaan ke- $i$ .  $i = 1, 2, \dots, m$  dan  $k = 1, 2, 3, \dots, l$ .

Berdasarkan persamaan (2.27), (2.28), (2.29),  $\eta_j^i$  berarti kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke- $j$  pada percobaan ke- $i$  menunjukkan  $C_j^i$  (PCR-SNR dalam respon ke- $j$  untuk percobaan ke- $i$ ) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \quad (2.30)$$

$$\bar{x}_{\eta_j} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m-1} \quad (2.31)$$

$$s_{\eta_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m-1}} \quad (2.32)$$

Dengan,

$\bar{x}_{\eta_j}$  : Rata-rata sampel untuk SNR pada respon ke- $j$

$s_{\eta_j}$  : Standar deviasi sampel untuk SNR dalam respon ke- $j$

Tahap selanjutnya adalah menghitung TOPSIS dari hasil PCR-SNR. Relatif kedekatan untuk setiap percobaan yang ideal, TOPSIS dari hasil PCR-SNR adalah

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \quad (2.33)$$

dengan,

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^+)^2} \quad (2.34)$$



$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^-)^2} \quad (2.35)$$

$d^{i+}$  untuk  $i = 1, \dots, m$  : Jarak percobaan ke- $i$  dari solusi ideal

$d^{i-}$  untuk  $i = 1, \dots, m$  : Jarak percobaan ke- $i$  dari solusi ideal

$C_j^+ = \max \{C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m\}, \forall C_j^i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$

$C_j^- = \min \{C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m\}, \forall C_j^i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$

## 2.9 Material Komposit

Material komposit yang dibahas dalam penelitian ini adalah jenis *Fibre-Reinforced Polymer* (FRP) komposit yang terdiri dari serat-serat yang diikat dengan matriks. Bahan serat yang sering digunakan adalah gelas, aramid, karbon (graphite), serta boron, sedangkan bahan matriks yang biasa digunakan adalah epoxy atau phenolic resin yang tergolong bahan-bahan organik lunak.

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan. Komposit yang diproduksi oleh suatu instansi atau pabrik biasanya dapat diprediksi sifat mekanik dari bahan komposit berdasarkan bahan matrik dan bahan penguatnya (Callister, 2007).

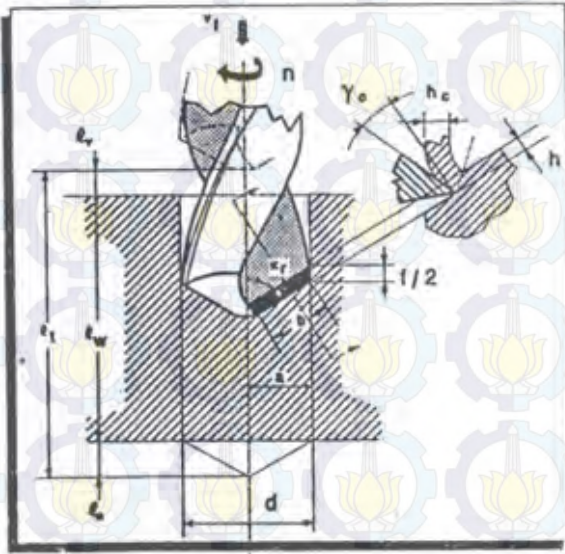
## 2.10 Proses Gurdi

Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sedangkan proses bor (boring) adalah proses meluaskan atau memperbesar lubang.

Karakteristik proses gurdi agak berbeda dengan proses pemesian yang lain, yaitu:

- Geram harus keluar dari lubang yang dibuat.
- Geram yang keluar dapat menyebabkan masalah ketika ukurannya besar dan atau kontinyu.

- Proses pembuatan lubang bisa sulit jika membuat lubang yang dalam.
- Untuk pembuatan lubang dalam pada benda kerja yang besar, cairan pendingin dimasukkan ke permukaan potong melalui tengah mata bor.

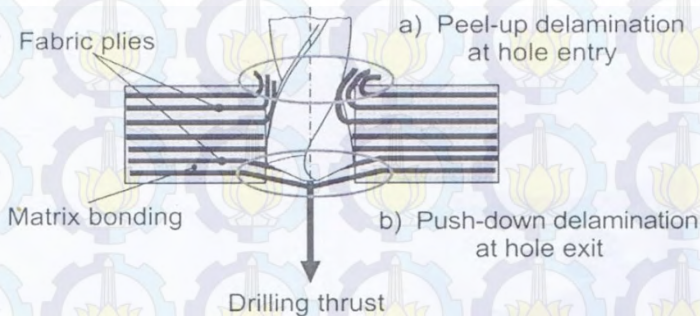


**Gambar 2.1** Elemen Dasar Proses Gurdi(Rochim, 1993)

### 2.11 Delaminasi

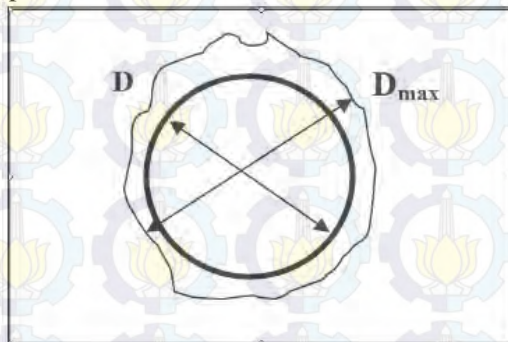
Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat. Delaminasi digambarkan sebagai lubang yang berbentuk elips pada hasil penggurdian. Delaminasi umumnya dikenal sebagai sifat kegagalan matriks yang dominan pada komposit yang berlapis-lapis (*laminat*). Delaminasi terjadi karena beberapa faktor seperti tegangan interlaminar yang tinggi pada sudut-sudutnya dan konsentrasi tegangan pada lokasi retak atau kerusakan lain pada laminat. Delaminasi yang terjadi pada sekitar permukaan atas

lubang hasil gurdi dikenal sebagai *hole entry* atau *peel up delamination*, karena bagian permukaannya seperti tekelpas. Delaminasi lebih besar terjadi pada bagian bawah permukaan lubang hasil gurdi yang dikenal sebagai *hole exit* atau *push-out delamination* (Faraz, et al., 2009). Kedua jenis delaminasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema Delaminasi pada Komposit Laminat (Faraz, et al., 2009)

$D_{max}$  dan  $D_n$  merupakan diameter maksimum pada delaminasi yang diamati dan diameter lubang nominal yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Ilustrasi dari Skema Pengukuran Faktor Delaminasi (Ramasegar, et al., 2012)







## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian yang dibahas dalam bab ini meliputi sumber data, variabel penelitian, rancangan percobaan, dan langkah analisis.

#### **3.1 Sumber Data**

Sumber data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian Randi Rifalda mahasiswa jurusan teknik mesin ITS tahun 2014 dengan judul Optimasi Multirespon Gaya Tekan, Torsi, dan Delaminasi pada Penggurdian Material Komposit Gelas 7781/Epoxy dengan Gabungan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA). Pada setiap respon percobaan diulang 2 kali. Respon yang digunakan ada 3 yaitu gaya tekan, momen torsi dan delaminasi. Sedangkan faktor kontrol yang digunakan ada 3, diantaranya pengaruh kecepatan putaran spindel, pengaruh gerak makan, dan pengaruh sudut ujung pahat.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada variabel respon dan variabel proses. Variabel respon yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Gaya tekan ( $Y_1$ )

Pada penelitian ini, gaya tekan diukur dengan menggunakan dinamometer.

2. Momen torsi ( $Y_2$ )

Pada penelitian ini, momen torsi diukur dengan menggunakan dinamometer.

3. Delaminasi ( $Y_3$ )

Pada penelitian ini, delaminasi diukur dengan menggunakan *roundness test*.

Terdapat 3 variabel yang digunakan sebagai variabel proses. Dimana berdasarkan spesifikasi mesin yang digunakan dalam penelitian, maka pada masing-masing variabel proses

terdapat 3 level faktor. Penentuan level dari masing-masing faktor ditentukan berdasarkan spesifikasi mesin yang digunakan dalam penelitian. Mesin yang digunakan dalam penelitian hanya memiliki 3 level untuk masing-masing variabel proses. Ketiga variabel proses tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Variabel Bebas (Variabel Proses) Penelitian

Variabel		Level
A	Kecepatan putaran spindel (rpm)	Level 1 : 368 rpm
		Level 2 : 681 rpm
		Level 3 : 1250 rpm
B	Gerak makan (mm per putaran)	Level 1 : 0,07 mm per putaran
		Level 2 : 0,13 mm per putaran
		Level 3 : 0,22 mm per putaran
C	Sudut ujung pahat (derajat)	Level 1 : 95 <sup>0</sup>
		Level 2 : 118 <sup>0</sup>
		Level 3 : 135 <sup>0</sup>

Faktor konstan adalah faktor yang tidak diteliti dalam sebuah penelitian. Nilai faktor ini dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Faktor-faktor konstan tersebut diantaranya adalah pahat gundi HSS diameter 10 mm.

Karakteristik respon optimal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah semakin kecil semakin baik. Nilai gaya tekan, momen torsi serta delaminasi yang paling minimum adalah yang paling diinginkan (*smaller the better*).

### 3.3 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini, data yang digunakan terdapat 3 variabel proses yang digunakan. Ketiga variabel tersebut digunakan sebagai faktor utama yaitu (A, B, dan C) yang masing-masing memiliki 3 level faktor. Dari faktor-faktor tersebut didapatkan total derajat bebas sebesar 8. Sehingga rancangan *Orthogonal Array* (OA) yang dapat dipilih adalah L<sub>9</sub>. Jika total derajat bebasnya 8 maka jumlah percobaan yang dipilih adalah dengan jumlah percobaan sebanyak 9 percobaan dan jumlah

faktor yang dapat digunakan adalah  $\leq 4$  faktor. Karena jumlah faktor ada 3, maka 3 kolom pada *basic mark* berisi faktor utama yaitu (A, B, dan C) dan 1 kolom sisanya diisi dengan e (*error*). Pada rancangan *Orthogonal Array* (OA)  $L_9$ , terdapat 2 kolom fundamental yaitu kolom 1 dan 2. Sedangkan kedua kolom yang lain yaitu kolom 3 dan 4 dibentuk berdasarkan kolom 1 dan 2. *Error* diletakkan pada kolom keempat, karena kolom 1, 2, dan 3 sudah terisi oleh faktor A, B, dan C. Selain itu pada penelitian ini, tidak ada interaksi karena masing-masing faktor tidak saling mempengaruhi dan diseting secara parsial. Pengamatan dilakukan dengan perulangan sebanyak 2 kali. Adapun desain Taguchinya adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Desain Taguchi dari Rancangan Percobaan

<i>Experiment Number</i>	<i>Basic Mark</i>			
	A	B	C	E
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sedangkan struktur data rancangan *Orthogonal Array*(OA) dengan  $Y_{ij}^k$  merupakan data hasil pengamatan pada percobaan pada *experiment number* ke- $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ ), respon ke- $j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) dan ulangan ke  $k$  ( $k = 1, 2$ ).



**Tabel 3.3** Struktur Data dari Rancangan Percobaan

Ke-1		Ke-2		Ke-3	
$Y_{11}^1$	$Y_{11}^2$	$Y_{12}^1$	$Y_{12}^2$	$Y_{13}^1$	$Y_{13}^2$
$Y_{21}^1$	$Y_{21}^2$	$Y_{22}^1$	$Y_{22}^2$	$Y_{23}^1$	$Y_{23}^2$
$Y_{31}^1$	$Y_{31}^2$	$Y_{32}^1$	$Y_{32}^2$	$Y_{33}^1$	$Y_{33}^2$
$Y_{41}^1$	$Y_{41}^2$	$Y_{42}^1$	$Y_{42}^2$	$Y_{43}^1$	$Y_{43}^2$
$Y_{51}^1$	$Y_{51}^2$	$Y_{52}^1$	$Y_{52}^2$	$Y_{53}^1$	$Y_{53}^2$
$Y_{61}^1$	$Y_{61}^2$	$Y_{62}^1$	$Y_{62}^2$	$Y_{63}^1$	$Y_{63}^2$
$Y_{71}^1$	$Y_{71}^2$	$Y_{72}^1$	$Y_{72}^2$	$Y_{73}^1$	$Y_{73}^2$
$Y_{81}^1$	$Y_{81}^2$	$Y_{82}^1$	$Y_{82}^2$	$Y_{83}^1$	$Y_{83}^2$
$Y_{91}^1$	$Y_{91}^2$	$Y_{92}^1$	$Y_{92}^2$	$Y_{93}^1$	$Y_{93}^2$

### 3.4 Langkah Analisis

Pada penelitian ini ada beberapa langkah tujuan yang ingin dicapai, sehingga perlu dilakukan tahapan analisis sebagai berikut.

1. Melakukan uji korelasi antar respon. Apabila antar respon terdapat korelasi maka respon-respon tersebut dapat dianalisis secara serentak.
2. Dengan menggunakan metode *hybrid* CA-Taguchi :
  - a. Melakukan normalisasi masing-masing data respon sesuai dengan karakteristik data yang digunakan (*smaller the better*, *Larger the better* atau *nominal is best*). Sebelum melakukan normalisasi data respon, langkah yang dilakukan adalah melakukan perhitungan nilai rata-rata pada setiap pengamatan.
  - b. Membuat matriks varians kovarians dari data hasil normalisasi sehingga mendapatkan nilai eigen value dan eigen vektor dari matriks tersebut. Ukuran matriks varians kovarians sesuai dengan banyaknya respon yang digunakan. Nilai eigen value tersebut diurutkan dari nilai yang terbesar. Sehingga dapat diketahui *accountability proportion* (AP) dan *cumulative accountability proportion* (CAP) dari masing-masing nilai eigen value.

- c. Membuat persamaan *principal component* (PC) dari nilai eigen vektor yang diperoleh dari analisis sebelumnya. Banyaknya persamaan PC sesuai dengan banyak respon yang digunakan.
- d. Menghitung *principal component*(PC) yang dihitung dari perkalian hasil normalisasi dengan persamaan PC yang diperoleh. Sehingga hasil perhitungan *principal component* (PC) sebanyak persamaan PC yang telah dibuat.
- e. Menghitung *composite principal component*. Langkah ini dilakukan untuk menyatukan hasil perhitungan *principal component*(PC) yang telah diperoleh ke dalam satu nilai tunggal untuk masing-masing pengamatan.
- f. Menghitung *Signal To Noise Ratio* (SNR) sesuai dengan karakteristik data (*smaller the better, Larger the better* atau *nominal is best*).
- g. Membuat ANOVA hasil *composite principal component* untuk mengetahui faktor-faktor (kecepatan putaran spindel, gerak makan, dan sudut ujung pahat) yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon secara serentak serta menghitung persentase kontribusi masing-masing faktor dan persentase kontribusi *error*.
- h. Membuat *main effect plot* dari *composite principal component* untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak serta menghitung nilai mean setiap level. Sehingga pada langkah ini dapat diketahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon pada masing-masing variabel proses.
- i. Menghitung nilai taksiran pada kondisi optimum setiap respon dengan menggunakan rancangan level optimum yang telah diperoleh pada langkah sebelumnya. Selain itu, juga menghitung nilai SNR

pada kondisi optimum masing-masing respon yang digunakan untuk membandingkan metode 1 (metode *hybrid* PCA-Taguchi) dengan metode 2 (metode Taguchi PCR-TOPSIS).

3. Dengan menggunakan metode Taguchi PCR-TOPSIS :
  - a. Melakukan transformasi masing-masing respon ke dalam *Signal To Noise Ratio* (SNR) yang sesuai karakteristik data yang digunakan (*smaller the better*, *Larger the better* atau *nominal is best*).
  - b. Menghitung PCR berdasarkan SNR dari setiap variabel respon. Langkah sebelumnya adalah menghitung rata-rata sampel dan variasi sampel masing-masing respon. Dengan demikian, nilai PCR-SNR masing-masing dapat diketahui.
  - c. Menghitung nilai TOPSIS dari hasil PCR-SNR. Sehingga diperoleh alternatif yang memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif ( $d^+$ ) dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif ( $d^-$ ).
  - d. Menghitung PCR-TOPSIS. Langkah ini dilakukan untuk menyatukan hasil perhitungan solusi ideal positif ( $d^+$ ) dengan solusi ideal negatif ( $d^-$ ) yang telah diperoleh ke dalam satu nilai tunggal untuk masing-masing pengamatan.
  - e. Membuat ANOVA hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon (kecepatan putaran spindel, gerak makan, dan sudut ujung pahat) secara serentak serta menghitung persentase kontribusi masing-masing faktor dan persentase kontribusi *error*.
  - f. Membuat *main effect plot* dari hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak serta menghitung nilai mean setiap level. Sehingga pada



langkah ini dapat diketahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon pada masing-masing variabel proses.

- g. Menghitung nilai taksiran pada kondisi optimum setiap respon dengan menggunakan rancangan level optimum yang telah diperoleh pada langkah sebelumnya. Selain itu, juga menghitung nilai SNR pada kondisi optimum masing-masing respon yang digunakan untuk membandingkan metode 1 (metode PCA-Taguchi) dengan metode 2 (metode Taguchi PCR-TOPSIS).
4. Membandingkan hasil optimasi multirespon dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi dengan Taguchi PCR-TOPSIS dengan melihat,
  - a. Nilai taksiran dan SNR pada kondisi optimum masing-masing respon pada masing-masing metode (semakin besar nilai SNR, maka metode tersebut semakin baik).
  - b. Persentase kontribusi *error* pada masing-masing metode (semakin kecil kontribusi *error*, maka metode tersebut semakin baik).
  - c. Koefisien determinasi pada masing-masing metode (semakin besar koefisien determinasi, maka metode tersebut semakin baik).
  - d. Selang kepercayaan (*confidence interval*) masing-masing respon dalam kondisi optimum masing-masing respon pada tiap metode.



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan terhadap data hasil percobaan pada mesin gurdi sehingga dapat mengoptimalkan respon yaitu gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi yang diduga dipengaruhi oleh kecepatan putaran spindel, gerak makan, dan sudut ujung pahat. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui signifikansi pengaruh masing-masing variabel secara serentak. Sehingga dapat dicari setting level variabel proses yang diduga dapat mengoptimalkan respon secara serentak dan dapat melakukan estimasi titik dan estimasi interval untuk masing-masing respon. Pada penelitian ini metode analisis yang digunakan ada dua yaitu metode *hybrid* PCA-Taguchi yang dibandingkan dengan PCR-TOPSIS Taguchi.

#### 1.1 Uji Korelasi antar Respon

Sebelum melakukan optimasi respon secara serentak, maka langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan uji korelasi antar respon. Berikut adalah hasil uji korelasi antar respon.

Uji Hipotesis :

$H_0 : \rho_i = 0$  (tidak ada korelasi antar respon)

$H_1 : \rho_i \neq 0$  (ada korelasi antar respon)

Dimana  $\rho_i$  adalah korelasi antar respon

Dengan menggunakan statistik uji :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y}$$

- Perhitungan korelasi respon gaya tekan dengan momen torsi.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i) / 9}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / 9} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / 9}} \\
&= \frac{808,839 - (917,765 \times 7,7115) / 9}{\sqrt{108385,5 - (917,765^2) / 9} \sqrt{6,658 - (7,7115)^2 / 9}} \\
&= 0,823
\end{aligned}$$

**Tabel 4.1** Nilai Korelasi antar Respon

Respon	Korelasi	P-value	Keputusan
$Y_1, Y_2$	0,823	0.006	$H_0$ ditolak
$Y_1, Y_3$	0,791	0.011	$H_0$ ditolak
$Y_2, Y_3$	0,790	0.011	$H_0$ ditolak

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa nilai korelasi antara  $Y_1$ (gaya tekan) dengan  $Y_2$  (momen torsi) sebesar 0,823 dan P-value sebesar 0,006. Dengan menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05, maka  $H_0$  ditolak dan dapat disimpulkan bahwa gaya tekan dengan momen torsi saling berkorelasi positif. Nilai korelasi antara  $Y_1$ (gaya tekan) dengan  $Y_3$  (delaminasi) sebesar 0,791 dan P-value sebesar 0,011. Sehingga dengan menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  yang sama yaitu 5%, maka  $H_0$  ditolak dan dapat disimpulkan bahwa gaya tekan dengan delaminasi saling berkorelasi positif. Nilai korelasi antara  $Y_2$  (momen torsi) dengan  $Y_3$  (delaminasi) sebesar 0,790 dan P-value sebesar 0,011. Dengan  $\alpha$  sebesar 0,05 maka  $H_0$  ditolak dan dapat disimpulkan bahwa momen torsi dengan delaminasi saling berkorelasi positif. Karena antar respon terdapat korelasi, maka ketiga respon dapat dioptimasi secara serentak.

#### 4.2 Optimasi Multirespon dengan Metode *Hybrid PCA-Taguchi*

Langkah pertama dalam analisis ini adalah mentransformasi ketiga respon tersebut menjadi variabel baru dengan menggunakan metode *hybrid PCA-Taguchi*.

#### 4.2.1 Normalisasi Data Respon

Sebelum melakukan normalisasi data respon, langkah yang dilakukan adalah melakukan perhitungan nilai rata-rata tiap pengamatan.

- Perhitungan nilai rata-rata respon gaya tekan pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i) \\
 &= \frac{115,7 + 99,17}{2} \\
 &= 107,435N
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Nilai Rata-Rata tiap Pengamatan

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
107,435	0,9045	0,17
126,45	0,9425	0,225
72,305	0,8695	0,17
115,9	0,89	0,195
49,045	0,776	0,155
130,95	0,904	0,17
40,855	0,6995	0,13
97,375	0,8085	0,19
177,45	0,917	0,21

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui nilai rata-rata tiap pengamatan pada masing-masing respon. Pada seting faktor pertama ( $A_1B_1C_1$ ) dengan kecepatan putaran spindel sebesar 368 rpm, gerak makan sebesar 0,07 mm per putaran serta sudut ujung pahat diseting sebesar  $95^0$ , maka rata-rata gaya tekan yang dihasilkan adalah 107,435 N, rata-rata momen torsi sebesar 0,9045 Nm, serta rata-rata delaminasi sebesar 0,17 mm. Setiap seting faktor memiliki rata-rata gaya tekan, momen torsi dan delaminasi yang berbeda-beda. Setelah mengetahui nilai rata-rata pengamatan, maka dapat dilakukan normalisasi data respon.

Sebelum melakukan normalisasi, maka nilai maksimum dan minimum dari nilai rata-rata tiap pengamatan pada masing-masing respon. Berikut adalah hasil perhitungannya.

- Perhitungan nilai maksimum respon gaya tekan ( $Y_1$ )  
 $= \max (107,435; 126,45; 72,305; \dots; 177,45)$   
 $= 107,45$
- Perhitungan nilai minimum respon gaya tekan ( $Y_1$ )  
 $= \min (107,435; 126,45; 72,305, \dots, 177,45)$   
 $= 40,855$

**Tabel 4.3** Nilai Maksimum dan Minimum Masing-Masing Respon

Respon	Maksimum	Minimum
$Y_1$	177,450	40,8550
$Y_2$	0,942500	0,699500
$Y_3$	0,225000	0,130000

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa bahwa dari 9 seting faktor yang digunakan, rata-rata gaya tekan maksimum adalah 177,45 N dan yang paling minimum sebesar 40,855 N. Sedangkan rata-rata momen torsi yang paling besar atau maksimum sebesar 0,9425 Nm dan yang paling kecil atau minimum adalah 0,6995. Pada respon yang ketiga yaitu delaminasi, memiliki rata-rata respon tertinggi atau maksimum sebesar 0,225 dan yang paling kecil atau minimum adalah 0,13. Setelah mengetahui nilai maksimum dan minimum dari rata-rata tiap pengamatan pada masing-masing respon, maka dapat dilakukan normalisasi data respon. Berikut adalah hasil normalisasi data respon dengan menggunakan persamaan (2.21).

- Perhitungan normalisasi respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\max y_i(j) - y_i(j)}{\max y_i(j) - \min y_i(j)} \\
 &= \frac{177,45 - 107,435}{177,45 - 40,855} = 0,512574
 \end{aligned}$$



**Tabel 4.4** Hasil Normalisasi Data Respon

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
0,512574	0,156379	0,578947
0,373367	0,000000	0,000000
0,769757	0,300412	0,578947
0,450602	0,216049	0,315789
0,94004	0,68519	0,73684
0,34042	0,15844	0,57895
1,00000	1,00000	1,00000
0,58622	0,55144	0,36842
0,00000	0,10494	0,15790

Nilai respon gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi sekecil mungkin adalah tujuan dari penelitian ini. Sehingga karakteristik yang sesuai untuk ketiga respon adalah *smaller the better*. Setelah didapatkan hasil normalisasi pada Tabel 4.4 (data terskalakan dari nol sampai satu pada masing-masing respon), maka langkah selanjutnya adalah menghitung *principal component*.

#### 4.2.2 Menghitung *Principal Component*

Sebelum melakukan perhitungan *principal component*, maka langkah yang harus dilakukan adalah menghitung eigenvalue dan eigenvektor dari matrik varians kovarians hasil normalisasi masing-masing respon. Berikut ditampilkan hasil perhitungan matriks varians kovarians yang disimbolkan dengan huruf M.

- Perhitungan  $\sigma_{11}$  data hasil normalisasi

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1} \\
 &= \frac{(0,5125 - 0,504)^2 + (0,3734 - 0,504)^2 + \dots + (0 - 0,504)^2}{(9 - 1)}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0991$$

$$M = \begin{bmatrix} 0,0991352 & 0,084611 & 0,0757146 \\ 0,0846114 & 0,1065564 & 0,0784420 \\ 0,0757146 & 0,078442 & 0,0924131 \end{bmatrix}$$

Dengan mengetahui matriks varians kovarians, maka dapat dilakukan perhitungan eigen value dan eigen vektor. Eigen value dan eigen vektor dari masing-masing persamaan *principal component* adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Eigen Value dan Eigen Vektor

	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>
Eigen value	0,258924	0,021084	0,018105
Eigen vektor	-0,579226	0,280818	0,76527
	-0,603688	0,483075	-0,634192
	-0,547775	-0,829325	-0,1103282
AP	86,85005	7,078162	6,071788
CAP	86,85005	93,92821	100

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dibentuk tiga persamaan *principal component* (PC) yaitu sebagai berikut.

$$PC_1 = -0,579226 Y_1 - 0,603688 Y_2 - 0,547775 Y_3$$

$$PC_2 = 0,280818 Y_1 + 0,483075 Y_2 - 0,829325 Y_3$$

$$PC_3 = 0,76527 Y_1 - 0,634192 Y_2 - 0,1103282 Y_3$$

Berdasarkan Tabel 4.5 juga dapat diketahui bahwa PC<sub>1</sub> dengan eigen value sebesar 0,258924 dengan eigen vektor (-0,579226; -0,603688; -0,547775) memiliki *accountability proportion* (AP) sebesar 86,85005%. Sedangkan PC<sub>2</sub> memiliki nilai AP sebesar 7,078162%, dan PC<sub>3</sub> sebesar 6,071788%. Sehingga dengan menggunakan satu persamaan PC yaitu PC<sub>1</sub> dapat menjelaskan variasi data sebesar 86,85005%. Apabila menggunakan dua persamaan PC dapat menjelaskan variasi data sebesar 93,92821%. Sedangkan dengan menggunakan tiga persamaan PC dapat menjelaskan variasi sebesar 100%. Dengan menggunakan persamaan (2.24) didapatkan hasil perhitungan *principal component* sebagai berikut.

- Perhitungan *principal component* ke 1 pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}\psi_1 &= V_{11}Q_1 + V_{21}Q_2 + V_{31}Q_3 \\ &= -0,579(0,513) + (-0,604)(0,156) + (-0,555)(0,579) \\ &= -0,70844\end{aligned}$$

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan *Principal Component*

PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>
-0,70844	-0,26064	0,229239
-0,21625	0,104841	0,285737
-0,94435	-0,11884	0,334716
-0,56441	-0,03098	0,172996
-1,36176	-0,01609	0,203596
-0,60997	-0,30799	0,096187
-1,7307	-0,0654	0,0208
-0,87427	0,12548	0,058275
-0,14985	-0,08025	-0,08397

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Composite Principal Component* dan SNR dengan menggunakan persamaan (2.25) dan (2.27).

- Perhitungan *Composite Principal PC* pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 \psi_i &= \sqrt{(\psi_{1j}^2 + \psi_{2j}^2 + \dots + \psi_{ij}^2)} \\
 &= \sqrt{(-0,70844)^2 + (-0,26064)^2 + (0,229239)^2} \\
 &= 0,78890
 \end{aligned}$$

- Perhitungan SNR pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 \eta_j^i &= -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i)^2 \right] \\
 &= -10 \log_{10} (0,78890)^2 = 0,20595
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.7** Hasil *Composite Principal Component* dan SNR

<i>Composite PC</i> (Ψ)	SNR untuk (Ψ)
0,78890	2,0595
0,37337	8,5573
1,00894	-0,0773
0,59114	4,5662
1,37699	-2,7786
0,69005	3,2224
1,73205	-4,7712
0,88514	1,0597
0,18959	14,4439



Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan tiga persamaan PC ( $PC_1$ ,  $PC_2$ , dan  $PC_3$ ), didapatkan nilai *composite principal component*. Dimana dari hasil *composite principal component* dengan derajat variasi sebesar 100%, dan dilakukan transformasi ke bentuk SNR merupakan tahap terakhir sebelum menentukan level faktor optimal.

#### 4.2.3 Analysis of Variance (ANOVA) Hasil Hybrid PCA-Taguchi

Hasil perhitungan *composite principal component*, selanjutnya akan dibuat ANOVA yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel proses (kecepatan putaran spindel, gerak makan, dan sudut ujung pahat) terhadap respon secara serentak. Dimana nilai *composite principal component* tersebut digunakan untuk mewakili ketiga respon yaitu gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi. Berdasarkan Lampiran H, maka hasil analisis dari ANOVA ditunjukkan pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

**Tabel 4.8** Analysis of Variance (ANOVA) Hasil Hybrid PCA-Taguchi

Source	DF	SS	MS	F hitung	Pvalue	SS'	$\rho$ (%)
A	2	0,07369	0,03684	2,16	0,316	0,03961	2,15
B	2	0,25356	0,12678	7,44	0,118	0,21948	11,92
C	2	1,48053	0,74027	43,45	0,022	1,44647	78,53
Error	2	0,03408	0,01704			0,13631	7,40
Total	8	1,84185					100

Berdasarkan Tabel 4.8, maka uji signifikansi masing-masing faktor adalah sebagai berikut.

- Hipotesis Faktor A (pengaruh kecepatan putaran spindel)  
Pengaruh dari faktor A dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  ditolak sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $F_{(2;2;0,05)} = 19$ )

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 2,16$  atau

P-value sebesar 0,316

Karena  $P\text{-value} > 0,05$ ,  $F_{hitung} < F_{tabel}$  namun dalam teori Taguchi apabila  $F_{hitung}$  pada ANOVA bernilai  $> 2$  maka  $H_0$  tetap ditolak (Park,1996) atau dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan putaran spindel berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

- Hipotesis Faktor B (pengaruh gerak makan)

Pengaruh dari faktor B dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  ditolak, sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $F_{(2;2;0,05)} = 19$ )

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 7,44$

atau P-value sebesar 0,118

Karena  $P\text{-value} > 0,05$ ,  $F_{hitung} < F_{tabel}$  namun dalam teori Taguchi apabila  $F_{hitung}$  pada ANOVA bernilai  $> 2$  maka  $H_0$  tetap ditolak (Park,1996) atau dapat disimpulkan bahwa gerak makan berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

- Hipotesis Faktor C (pengaruh sudut ujung pahat)

Pengaruh dari faktor C dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \gamma_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  ditolak, sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $F_{(2;2;0,05)} = 19$ )

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 43,45$

atau P-value sebesar 0,022

Karena  $P\text{-value} < 0,05$ ,  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka tolak  $H_0$  atau dapat disimpulkan bahwa faktor sudut ujung pahat berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

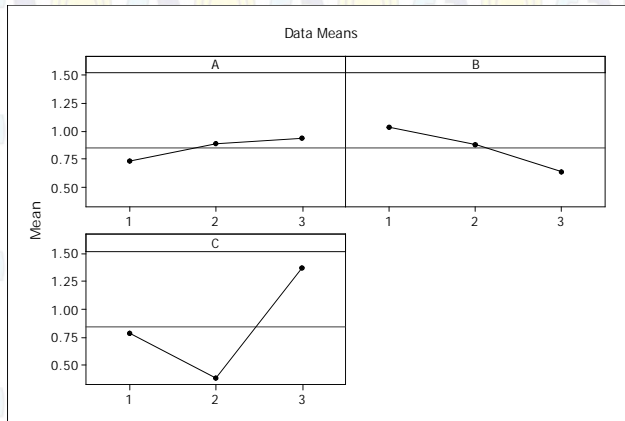
Hasil perhitungan pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa faktor yang signifikan adalah faktor C untuk taraf signifikansi 5%. Namun berdasarkan aturan signifikansi dengan menggunakan metode Taguchi, ketiga faktor tersebut yaitu A, B, dan C telah signifikan mempengaruhi respon secara serentak karena nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari 2. Selain itu juga didapatkan koefisien determinasinya yaitu sebesar 98,15% yang ditunjukkan pada Lampiran H. Hal itu menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel proses dapat menggambarkan variabilitas respon sebesar 98,15%, sedangkan 1,85% lainnya digambarkan oleh variabel lain yang belum dimasukkan dalam proses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel proses kecepatan putaran spindel, gerak makan dan sudut ujung pahat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon secara serentak.

Berdasarkan Tabel 4.8 juga dapat diketahui persentase kontribusi masing-masing faktor (variabel proses) yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15). Faktor A (kecepatan putaran spindel) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan variabel respon secara serentak sebesar 2,15%. Pada faktor B (gerak makan) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan variabel respon secara serentak sebesar 11,92%. Sedangkan faktor C (sudut ujung pahat) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan variabel respon secara serentak sebesar 78,53%. Dari ketiga variabel proses yang digunakan, faktor C memiliki persentase kontribusi terbesar. Dengan menggunakan metode *hybridPCA*-Taguchi persentase kontribusi *error* nya sebesar 7,4%. Nilai tersebut kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar.



#### 4.2.4 Penentuan Kondisi Optimum

Untuk memperoleh kondisi optimum, level yang dipilih adalah level yang memberikan nilai mean yang terbesar untuk masing-masing respon.



**Gambar 4.1** Main Efek Plot Respon Composite Principal Component Hybrid PCA-Taguchi

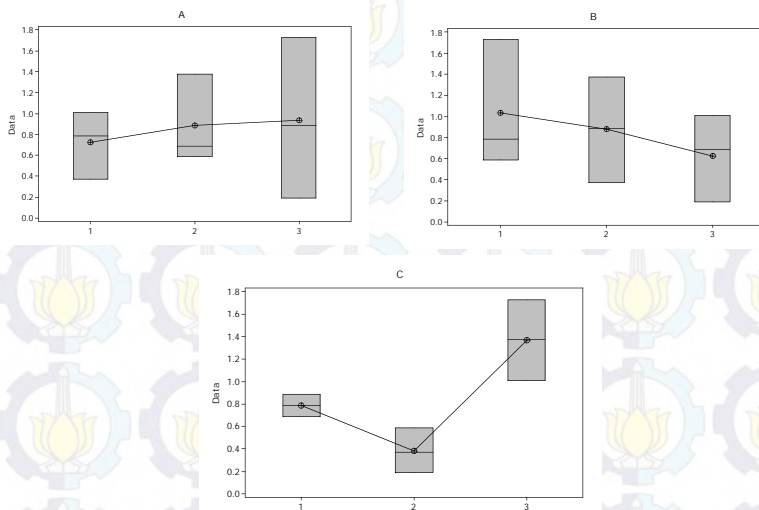
Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa level faktor yang mengoptimumkan respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi) adalah level 3 untuk faktor A (kecepatan putaran spindel), faktor B (gerak makan) pada level 1, dan faktor C (sudut ujung pahat) yang mengoptimumkan respon secara serentak adalah level 3.

Nilai mean dari masing-masing level untuk masing-masing respon adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.9** Nilai Mean Setiap Level

Level	A	B	C
1	0,723736	<b>1,037367</b>	0,788033
2	0,886059	0,878501	0,384698
3	<b>0,935598</b>	0,629526	<b>1,372663</b>
Delta	0,211862	0,407841	0,987965
Rank	3	2	1

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang memiliki nilai mean yang terbesar. Dimana level  $A_3$  memiliki nilai mean yang lebih besar dari pada  $A_1$  dan  $A_2$  sehingga faktor kecepatan putaran spindel memberikan pengaruh terbesar pada level 3 (1250 rpm) yaitu sebesar 0,935598. Begitu juga dengan faktor B pada level 1 (0,07 mm per putaran) dan faktor C pada level 3 ( $135^\circ$ ) memberikan pengaruh terhadap respon yang terbesar dari pada level lainnya sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$ .



**Gambar 4.2** Boxplot Nilai Mean Masing-Masing Faktor Level

Gambar 4.2 juga mendukung hasil dari Gambar 4.1 dan Tabel 4.9 pada boxplot faktor A dapat diketahui bahwa pada level 3 memiliki nilai yang lebih besar namun tidak jauh berbeda dari pada level 1 dan 2. Pada boxplot faktor B dapat diketahui bahwa nilai level 1 mempunyai nilai yang jauh berbeda dari level 2 dan 3. Sedangkan pada boxplot C dapat diketahui bahwa level 3 memiliki nilai yang jauh berbeda dengan level 1 dan 2.

#### 4.2.5 Taksiran Nilai Kondisi Optimum Setiap Respon

Untuk mendapatkan nilai taksiran setiap respon menggunakan rancangan level optimum  $A_3B_1C_3$  yaitu dengan seting faktor kecepatan putaran spindel sebesar 1250 rpm, faktor gerak makan sebesar 0,07 mm per putaran dan faktor sudut ujung pahat sebesar  $135^\circ$ .

- Perhitungan nilai taksiran rata-rata respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada kondisi optimum  $A_3B_1C_3$

$$\begin{aligned}\bar{\mu} &= \mu + (\bar{A}_3 - \mu) + (\bar{B}_1 - \mu) + (\bar{C}_3 - \mu) \\ &= \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 - 2\mu \\ &= 105,2267 + 88,06333 + 54,06833 - 2(101,9739) \\ &= 43,41056 \text{ N}\end{aligned}$$

- Perhitungan nilai taksiran SNR respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada kondisi optimum  $A_3B_1C_3$

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{opt} &= \bar{\eta} + (\bar{A}_3 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_3 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 - 2\bar{\eta} \\ &= -38,9923 + (-38,0523) + (-34,4086) - 2(-39,3669) \\ &= -32,7192 \text{ dB}\end{aligned}$$

**Tabel 4.10** Nilai Taksiran Optimum untuk Setiap Respon

	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Mean	43,41056	0,707667	0,134444
SNR	-32,7192	2,984899	16,90379

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa nilai taksiran SNR  $Y_1$  yaitu gaya tekan sebesar -32,7192 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 43,41056 N. Pada nilai taksiran SNR  $Y_2$  yaitu momen torsi sebesar 2,984899 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 0,707667 Nm. Sedangkan pada nilai taksiran  $Y_3$  yaitu delaminasi sebesar 16,90379 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 0,134444 mm.



#### 4.2.6 Interval Kepercayaan Taksiran Respon pada Kondisi Optimum dengan *Hybrid PCA-Taguchi*

Setelah didapatkan kombinasi level faktor dan taksiran optimum masing-masing respon, maka interval kepercayaan taksiran masing-masing respon pada kondisi optimum antara lain :

##### 1. Respon Gaya Tekan

Berikut adalah ANOVA untuk respon gaya tekan.

**Tabel 4.11** ANOVA untuk Respon Gaya Tekan

Source	DF	SS	MS	F
A	2	130,6	65,3	0,65
B	2	5617,7	2808,8	28,17
C	2	23008,7	11504,4	115,38
Error	11	1096,8	99,7	
Total	17	29853,7		

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa, nilai Fhitung faktor A (kecepatan putaran spindel) kurang dari 2, sehingga tidak signifikan terhadap besarnya gaya tekan. Sedangkan faktor B (gerak makan) dan faktor C (sudut ujung pahat) memiliki Fhitung lebih dari 2, sehingga signifikan terhadap besarnya gaya tekan. Karena faktor kecepatan putaran spindel memiliki nilai variasi yang kecil, maka nilai variasi dari faktor tersebut digabungkan dengan nilai variasi *error* (metode *pooling*). Berikut adalah tabel ANOVA untuk respon gaya tekan setelah dilakukan penggabungan (*pooling*).

**Tabel 4.12** ANOVA untuk Respon Gaya Tekan setelah Digabung (*Pooling*)

Source	Pool	DF	SS	MS	F
A	Y	2	130,6	65,3	-
B		2	5617,7	2808,85	29,74992
C		2	23008,7	1150,35	121,8483
Error	Y	11	1096,8	99,70909	-
Pooled		13	1227,4	94,41538	-
Mean		1	43,41056	-	-
Total		17	29853,8	-	-

Berdasarkan Tabel 4.12 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata gaya tekan pada tingkat

kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.18) maka banyak pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 n_{eff} &= \frac{m \times k}{df_{mean} + df_B + df_C} \\
 &= \frac{9 \times 2}{1 + 2 + 2} = 3,6 \\
 CI &= \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} MSE}{n_{eff}}} \\
 &= \sqrt{\frac{4,66719 \times 94,41538}{3,6}} = 11,06364
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata gaya tekan pada tingkat kepercayaan 95% adalah antara  $32,34692 < \mu_1 < 54,4742 \text{ N}$ .

## 2. Respon Momen Torsi

Berikut adalah ANOVA untuk respon momen torsi.

**Tabel 4.13** ANOVA untuk Respon Momen Torsi

Source	DF	SS	MS	F
A	2	0,028324	0,014162	13,97
B	2	0,014763	0,007381	7,28
C	2	0,056702	0,028351	27,97
Error	11	0,011149	0,001014	
Mean	1	0,70767		
Total	17	0,110939	Total	

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat diketahui bahwa, nilai *F*-hitung faktor A (kecepatan putaran spindel), faktor B (gerak makan), dan faktor C (sudut ujung pahat) lebih besar dari 2, sehingga signifikan terhadap besarnya momen torsi. Oleh karena itu, tidak perlu dilakukan penggabungan (*pooling*) variasi faktor dengan variasi *error*. Berdasarkan Tabel 4.13 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata momen torsi pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan

(2.19) dan (2.18) maka banyak pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$n_{eff} = \frac{m \times k}{df_{mean} + df_A + df_B + df_C}$$

$$= \frac{9 \times 2}{1 + 2 + 2 + 2} = 2,571429$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} MSE}{n_{eff}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4,84434 \times 0,001014}{2,571429}} = 0,043707$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata momen torsi pada tingkat kepercayaan 95% adalah  $0,66396 < \mu_2 < 0,751373 \text{ Nm}$ .

### 3. Respon Delaminasi

Berikut adalah ANOVA untuk respon delaminasi.

**Tabel 4.14** ANOVA untuk Respon Delaminasi

Source	DF	SS	MS	F
A	2	0,000744	0,000372	0,3
B	2	0,002011	0,001006	0,81
C	2	0,010278	0,005139	4,14
Error	11	0,013661	0,001242	
Total	17	0,026694		

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa, nilai Fhitung faktor A yaitu kecepatan putaran spindeldan faktor B yaitu gerak makan lebih kecil dari 2, sehingga tidak signifikan terhadap besarnya delaminasi. Sedangkan faktor C yaitu sudut ujung pahat, memiliki Fhitung yang lebih besar dari 2 sehingga signifikan terhadap besarnya delaminasi. Karena memiliki nilai variasi yang kecil, maka nilai variasi dari faktor kecepatan putaran spindel dan gerak makan tersebut digabungkan dengan nilai variasi *error* (metode *pooling*). Berikut adalah tabel ANOVA untuk respon gaya tekan setelah dilakukan penggabungan (*pooling*).



**Tabel 4.15** ANOVA untuk Respon Delaminasi setelah Digabung (*Pooling*)

Source	Pool	DF	SS	MS	F
A	Y	2	0,000744	0,000372	-
B	Y	2	0,002011	0,001006	-
C		2	0,010278	0,005139	4,695724
Error	Y	11	0,013661	0,001242	-
Pooled		15	0,016416	0,001094	-
Mean		1	0,134444	-	-
Total		17	0,026694	-	-

Berdasarkan Tabel 4.15 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata delaminasi pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.18) maka banyak pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 n_{eff} &= \frac{m \times k}{df_{mean} + df_c} \\
 &= \frac{9 \times 2}{1 + 2} = 6 \\
 CI &= \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} MSE}{n_{eff}}} \\
 &= \sqrt{\frac{4,54 \times 0,001094}{6}} = 0,028777
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata delaminasi pada tingkat kepercayaan 95% adalah  $0,1056558 < \mu_3 < 0,16323 \text{ mm}$ .

### 4.3 Optimasi Multirespon dengan Metode PCR-TOPSIS Taguchi

Langkah pertama dalam analisis ini adalah mentransformasi ketiga respon tersebut menjadi variabel baru dengan metode PCR-TOPSIS Taguchi.

### 4.3.1 Transformasi Nilai Respon ke SNR

Dalam penelitian ini, ketiga respon memiliki karakteristik yang sama yaitu *smaller the better* atau semakin kecil nilai dari gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi maka akan semakin baik. SNR merupakan hasil transformasi dari beberapa pengulangan data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Dengan menggunakan persamaan (2.27), berikut adalah hasil perhitungan SNR untuk masing-masing respon.

- Perhitungan nilai SNR respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}\eta_j^i &= -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i)^2 \right] \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{115,7^2 + 99,17^2}{2} \right) \\ &= -40,6485 \text{ dB}\end{aligned}$$

**Tabel 4.16** Hasil Perhitungan SNR pada Masing-Masing Variabel Respon

SNR		
$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
-40,6485	0,871795	15,2578
-42,0426	0,512700	12,9371
-37,1834	1,213045	15,2578
-41,2828	1,010424	14,1965
-33,8170	2,202758	15,9774
-42,3514	0,863890	15,2578
-32,2254	3,104243	17,1220
-39,7698	1,845189	14,4249
-44,9816	0,744358	13,5556

Berdasarkan Tabel 4.16 dapat diketahui nilai *Signal to Noise ratio* (SNR) untuk masing-masing respon (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi). SNR gaya tekan paling tinggi pada seting faktor ke 7. Pada respon momen torsi, SNR terbesar terdapat pada seting faktor ke 7 sedangkan pada respon delaminasi, SNR terkecil terdapat pada seting faktor ke dua.

### 4.3.2 Menghitung PCR berdasarkan SNR dari Setiap Variabel Respon

Berdasarkan Indeks Kemampuan Rasio Proses, PCR-SNR dapat dihitung dengan mentransformasi nilai SNR dari tiap variabel respon ke dalam persamaan  $C_{pk}$ .

Sebelum melakukan perhitungan PCR-SNR sesuai persamaan (2.30), maka perlu diketahui rata-rata, varians, dan standart deviasi sampel dari SNR pada masing-masing respon. Hasil perhitungan masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.17.

- Perhitungan nilai rata-rata sampel respon gaya tekan ( $Y_1$ )

$$\begin{aligned}\bar{x}_{\eta_1} &= \frac{\sum_{i=1}^9 \eta_1^i}{m-1} \\ &= \frac{(-40,6485 + (-42,0426 + \dots + (-44,9816))}{9-1} \\ &= \frac{-354,303}{8} = -44,2878 \text{ dB}\end{aligned}$$

- Perhitungan nilai standart deviasi sampel respon gaya tekan ( $Y_1$ )

$$\begin{aligned}s_{\eta_1} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (\eta_1^i - \bar{x}_{\eta_1})^2}{m-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(-40,6485 - (-44,2878))^2 + \dots + (-44,9816 - (-44,2878))^2}{9-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(13,244 + 5,0409 + \dots + 0,4813)}{8}} \\ &= 6,685532\end{aligned}$$



**Tabel 4.17** Hasil Perhitungan Rata-Rata, Varians, dan Standart Deviasi Sampel

	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Rata-Rata Sampel	-44,2878	1,54605	16,74837
Varians Sampel	44,69634	0,747124	5,503662
Standart Deviasi Sampel	6,685532	0,864363	2,345989

Sehingga dari hasil perhitungan di atas, diperoleh nilai PCR-SNR.

- Perhitungan nilai PCR-SNR respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 C_1^1 &= \frac{\eta_1^1 - \bar{x}_{\eta_1}}{3s_{\eta_1}} \\
 &= \frac{-40,6485 - (-44,2878)}{3(6,685532)} \\
 &= 0,18145
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.18** Hasil Perhitungan PCR-SNR pada Masing-Masing Respon

PCR SNR		
$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
0,181450	-0,260020	-0,211785
0,111943	-0,398502	-0,541532
0,354219	-0,128420	-0,211785
0,149825	-0,206559	-0,362593
0,522063	0,253253	-0,109547
0,096549	-0,263068	-0,211785
0,601417	0,600902	0,053085
0,225266	0,115360	-0,330130
-0,034590	-0,309165	-0,453648

Berdasarkan Tabel 4.18, dapat diketahui nilai PCR-SNR untuk masing-masing respon (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

### 4.3.3 Menghitung Nilai TOPSIS dari Hasil PCR-SNR

TOPSIS adalah salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria dengan ide dasarnya adalah bahwa alternatif yang dipilih memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan yang

terjauh dari solusi ideal negatif. Dengan menggunakan persamaan (2.34) dan (2.35) didapatkan hasil perhitungan nilai TOPSIS.

- Perhitungan jarak terdekat dengan solusi ideal positif ( $d^{i+}$ ) pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 d^{1+} &= \sqrt{\sum_{j=1}^3 (C_j^1 - C_j^+)^2} \\
 &= \sqrt{(0,18145 - 0,6014)^2 + (-0,26 - 0,6009)^2 + (-0,2118 - 0,053)^2} \\
 &= \sqrt{0,176372 + 0,741187 + 0,070156} = 0,993838
 \end{aligned}$$

- Perhitungan jarak terjauh dengan solusi ideal negatif ( $d^{i-}$ ) pada percobaan ke 1.

$$\begin{aligned}
 d^{1-} &= \sqrt{\sum_{j=1}^3 (C_j^1 - C_j^-)^2} \\
 &= \sqrt{(0,18145 - (-0,035))^2 + (-0,26 - (-0,3985))^2 + (-0,2118 - (-0,5415))^2} \\
 &= \sqrt{0,046673 + 0,019177 + 0,108733} = 0,417832
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.19** Hasil Perhitungan Nilai TOPSIS

<i>Separation Measure</i>	
$d^{i+}$	$d^{i-}$
0,993838	0,417832
1,261729	0,146534
0,814355	0,576931
1,014257	0,320733
0,391926	0,959822
1,035129	0,379832
0,000000	1,325474
0,723944	0,613408
1,220453	0,125318

Berdasarkan Tabel 4.19 yaitu perhitungan jarak terdekat dengan solusi ideal dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif pada percobaan ke- $i$  untuk respon ke- $j$  maka dengan menggunakan persamaan (2.33) diperoleh Tabel 4.20.

- Perhitungan PCR-TOPSIS pada percobaan ke 1.

$$S^1 = \frac{d^{1-}}{d^{1+} + d^{1-}} = \frac{0,417832}{0,993838 + 0,417832} = 0,295984$$

**Tabel 4.20** Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS

PCR TOPSIS
0,295984
0,104053
0,414675
0,240251
0,71006
0,26844
1
0,458674
0,09312

Hasil perhitungan PCR-TOPSIS pada Tabel 4.20 inilah yang akan dianalisis sebagai respon baru yang mewakili tiga respon yaitu (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

#### 4.3.4 *Analysis of Variance (ANOVA)* Hasil PCR-TOPSIS

Hasil perhitungan PCR-SNR yang didapat selanjutnya akan dibuat ANOVA yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel proses terhadap respon secara serentak yang diwakili oleh PCR-TOPSIS untuk ketiga respon yaitu (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi). Berdasarkan Lampiran O, maka hasil analisis dari ANOVA ditunjukkan pada Tabel 4.21 sebagai berikut.

**Tabel 4.21** ANOVA dari Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS Taguchi

Source	DF	SS	MS	F hitung	Pvalue	SS'	$\rho$
A	2	0,09083	0,04541	5,76	0,148	0,07505	10,80
B	2	0,09929	0,04964	6,30	0,137	0,08351	12,01
C	2	0,48929	0,24465	31,02	0,031	0,47351	68,11
Error	2	0,01577	0,00789			0,06311	9,08
Total	8	0,69518					100



Berdasarkan Tabel 4.21, maka uji signifikansi masing-masing faktor adalah sebagai berikut.

- Hipotesis Faktor A (pengaruh kecepatan putaran spindel)  
Pengaruh dari faktor A dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  ditolak, sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel} (F_{(2;2;0,05)} = 19)$

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 5,76$

atau  $P\text{-value}$  sebesar 0,148

Karena  $P\text{-value} > 0,05$ ,  $F_{hitung} < F_{tabel}$  namun dalam teori Taguchi apabila  $F_{hitung}$  pada ANOVA bernilai  $> 2$  maka  $H_0$  tetap ditolak (Park,1996) atau dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan putaran spindel berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

- Hipotesis Faktor B (pengaruh gerak makan)  
Pengaruh dari faktor B dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  ditolak, sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha$  (0,05) maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel} (F_{(2;2;0,05)} = 19)$

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 6,30$

atau  $P\text{-value}$  sebesar 0,137

Karena  $P\text{-value} > 0,05$ ,  $F_{hitung} < F_{tabel}$  namun dalam teori Taguchi apabila  $F_{hitung}$  pada ANOVA bernilai  $> 2$  maka  $H_0$  tetap ditolak (Park,1996) atau dapat disimpulkan bahwa gerak makan berpengaruh signifikan terhadap

respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

- Hipotesis Faktor C (pengaruh sudut ujung pahat)

Pengaruh dari faktor C dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \gamma_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5%  $P\text{-value} < \alpha (0,05)$  maka keputusan  $H_0$  ditolak. sedangkan jika  $P\text{-value} > \alpha (0,05)$  maka keputusan  $H_0$  gagal ditolak.

Daerah penolakan :  $F_{hitung} > F_{tabel} (F_{(2;2;0,05)} = 19)$

Statistik hitung :  $F_{hitung} = 31,02$

atau  $P\text{-value}$  sebesar 0,031

Karena  $P\text{-value} < 0,05$ ,  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka tolak  $H_0$  atau dapat disimpulkan bahwa faktor sudut ujung pahat berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi).

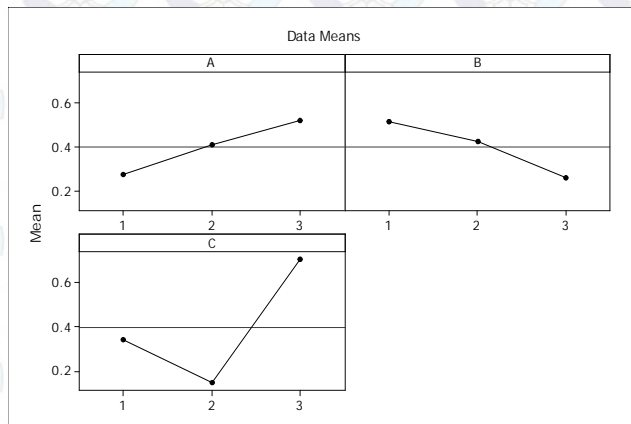
Hasil perhitungan pada Tabel 4.14 menunjukkan bahwa faktor yang signifikan adalah faktor C untuk taraf signifikansi 5%. Namun berdasarkan aturan signifikansi dengan menggunakan metode Taguchi, ketiga faktor tersebut yaitu A, B, dan C telah signifikan mempengaruhi respon secara serentak karena nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari 2. Selain itu juga didapatkan koefisien determinasinya yaitu sebesar 97,73% yang ditunjukkan pada Lampiran O. Hal itu menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel proses dapat menggambarkan variabilitas respon sebesar 97,73%, sedangkan 2,27% lainnya digambarkan oleh variabel lain yang belum dimasukkan dalam proses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel proses kecepatan putaran spindel, gerak makan dan sudut ujung pahat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon secara serentak.

Berdasarkan Tabel 4.21, juga dapat diketahui persentase kontribusi masing-masing faktor (variabel proses) yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15). Faktor A (kecepatan putaran spindel) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan

variabel respon secara serentak sebesar 10,8%. Pada faktor B (gerak makan) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan variabel respon secara serentak sebesar 12,01%. Sedangkan faktor C (sudut ujung pahat) memiliki persentase kontribusi untuk menjelaskan variabel respon secara serentak sebesar 68,11%. Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi, persentase kontribusi *error* nya sebesar 9,08%. Nilai tersebut kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan.

#### 4.3.5 Penentuan Kondisi Optimum

Untuk memperoleh kondisi optimum, level yang dipilih adalah level yang memberikan nilai rata-rata SNR yang terbesar untuk masing-masing respon.



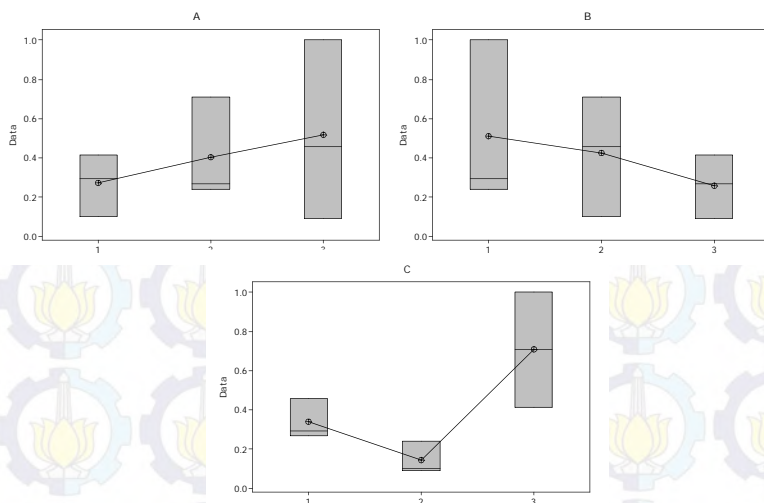
**Gambar 4.3** Main Efek Plot Respon PCR-TOPSIS Taguchi

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa level faktor yang mengoptimalkan respon secara serentak (gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi) adalah level 3 untuk faktor A (kecepatan putaran spindel), level 1 untuk faktor B (gerak makan), serta level 3 untuk faktor C (sudut ujung pahat). Nilai rata-rata SNR dari masing-masing level untuk masing-masing respon adalah sebagai berikut.



**Tabel 4.22** Nilai Mean Setiap Level

Level	A	B	C
<b>1</b>	0,271571	<b>0,512079</b>	0,341033
<b>2</b>	0,40625	0,424262	0,145808
<b>3</b>	<b>0,517264</b>	0,258745	<b>0,708245</b>
<b>Delta</b>	0,24569	0,25333	0,56244
<b>Rank</b>	3	2	1

**Gambar 4.4** Boxplot Nilai Mean Masing-Masing Faktor Level

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang memiliki nilai mean yang terbesar. Dimana level  $A_3$  memiliki nilai mean yang lebih besar dari pada  $A_1$  dan  $A_2$  sehingga faktor kecepatan putaran spindel memberikan pengaruh terbesar pada level 3 (1250 rpm). Begitu juga dengan faktor B pada level 1 (0,07 mm per putaran) dan faktor C pada level 3 ( $135^\circ$ ) memberikan pengaruh terhadap respon yang terbesar dari pada level lainnya sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$ .

Gambar 4.4 juga mendukung hasil dari Gambar 4.3 dan Tabel 4. pada boxplot faktor A dapat diketahui bahwa pada level 3 memiliki nilai yang lebih besar dari pada level 1 dan 2. Pada boxplot faktor B dapat diketahui bahwa nilai level 1 mempunyai nilai yang berbeda dari level 2 dan 3. Sedangkan pada boxplot C dapat diketahui bahwa level 3 memiliki nilai yang jauh berbeda dengan level 1 dan 2.

#### 4.3.6 Taksiran Nilai Kondisi Optimum Setiap Respon

Untuk mendapatkan nilai taksiran setiap respon menggunakan rancangan level optimum  $A_3B_1C_3$  yaitu dengan faktor kecepatan putaran spindel pada level 3 sebesar 1250 rpm, faktor gerak makan pada level 1 sebesar 0,07 mm per putaran serta faktor sudut ujung pahat pada level 3 sebesar  $135^\circ$ .

- Perhitungan nilai taksiran rata-rata respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada kondisi optimum  $A_3B_1C_3$

$$\begin{aligned}\hat{\mu} &= \mu + (\bar{A}_3 - \mu) + (\bar{B}_1 - \mu) + (\bar{C}_3 - \mu) \\ &= \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 - 2\mu \\ &= 105,2267 + 88,06333 + 54,06833 - 2(101,9739) \\ &= 43,41056 \text{ N}\end{aligned}$$

- Perhitungan nilai taksiran SNR respon gaya tekan ( $Y_1$ ) pada kondisi optimum  $A_3B_1C_3$

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{opt} &= \bar{\eta} + (\bar{A}_3 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_3 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 - 2\bar{\eta} \\ &= -38,9923 + (-38,0523) + (-34,4086) - 2(-39,3669) \\ &= -32,7192 \text{ dB}\end{aligned}$$

**Tabel 4.23** Nilai Taksiran Optimum untuk Setiap Respon

	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Mean	43,41056	0,707667	0,134444
SNR	-32,7192	2,984899	16,90379

Berdasarkan Tabel 4.23 dapat diketahui bahwa nilai taksiran SNR respon pertama yaitu gaya tekan sebesar -32,7192 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 43,41056 N. Pada nilai taksiran

SNR respon kedua yaitu momen torsi sebesar 2,984899 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 0,707667 Nm. Sedangkan pada nilai taksiran respon ketigayaitu delaminasi sebesar 16,90379 dB dengan taksiran rata-rata sebesar 0,134444 mm.

### 4.3.7 Interval Kepercayaan Taksiran Respon pada Kondisi Optimum dengan PCR-TOPSIS

Setelah didapatkan kombinasi level faktor dan taksiran optimum masing-masing respon, maka interval kepercayaan taksiran masing-masing respon pada kondisi optimum antara lain :

#### 1. Respon Gaya Tekan

Berikut adalah ANOVA untuk respon gaya tekan.

**Tabel 4.24** ANOVA untuk Respon Gaya Tekan

Source	DF	SS	MS	F
A	2	130,6	65,3	0,65
B	2	5617,7	2808,8	28,17
C	2	23008,7	11504,4	115,38
Error	11	1096,8	99,7	
Total	17	29853,7		

Berdasarkan Tabel 4.24 dapat diketahui bahwa, nilai Fhitung faktor A (kecepatan putaran spindel) kurang dari 2, sehingga tidak signifikan terhadap besarnya gaya tekan. Karena memiliki nilai variasi yang kecil, maka nilai variasi dari faktor tersebut digabungkan dengan nilai variasi *error* (metode *pooling*). Berikut adalah tabel ANOVA untuk respon gaya tekan setelah dilakukan penggabungan (*pooling*).

**Tabel 4.25** ANOVA untuk Respon Gaya Tekan setelah Digabung (*Pooling*)

Source	Pool	DF	SS	MS	F
A	Y	2	130,6	65,3	-
B		2	5617,7	2808,85	29,74992
C		2	23008,7	1150,35	121,8483
Error	Y	11	1096,8	99,70909	-
Pooled		13	1227,4	94,41538	-
Mean		1	43,41056	-	-
Total		17	29853,8	-	-



Berdasarkan Tabel 4.25 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata gaya tekan pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan (2.18) dan (2.17) maka banyak pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$n_{eff} = \frac{m \times k}{df_{mean} + df_B + df_C}$$

$$= \frac{9 \times 2}{1 + 2 + 2} = 3,6$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} MSE}{n_{eff}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4,66719 \times 94,41538}{3,6}} = 11,06364$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata gaya tekan pada tingkat kepercayaan 95% adalah antara  $32,34692 < \mu_1 < 54,4742$  N.

## 2. Respon Momen Torsi

Berikut adalah ANOVA untuk respon momen torsi.

**Tabel 4.26** ANOVA untuk Respon Momen Torsi

Source	DF	SS	MS	F
A	2	0,028324	0,014162	13,97
B	2	0,014763	0,007381	7,28
C	2	0,056702	0,028351	27,97
Error	11	0,011149	0,001014	
Mean	1	0,70767		
Total	17	0,110939	Total	

Berdasarkan Tabel 4.26 dapat diketahui bahwa, nilai Fhitung faktor A (kecepatan putaran spindel), faktor B (gerak makan), dan faktor C (sudut ujung pahat) lebih besar dari 2, sehingga signifikan terhadap besarnya momen torsi. Berdasarkan Tabel 4.26 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata momen torsi pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan (2.18) dan (2.17) maka banyak

pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$n_{eff} = \frac{m \times k}{df_{mean} + df_A + df_B + df_C}$$

$$= \frac{9 \times 2}{1 + 2 + 2 + 2} = 2,571429$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} MSE}{n_{eff}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4,84434 \times 0,001014}{2,571429}} = 0,043707$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata momen torsi pada tingkat kepercayaan 95% adalah  $0,66396 < \mu_2 < 0,751373 \text{ Nm}$ .

### 3. Respon Delaminasi

Berikut adalah ANOVA untuk respon delaminasi.

**Tabel 4.27** ANOVA untuk Respon Delaminasi

Source	DF	SS	MS	F
A	2	0,000744	0,000372	0,3
B	2	0,002011	0,001006	0,81
C	2	0,010278	0,005139	4,14
Error	11	0,013661	0,001242	
Total	17	0,026694		

Berdasarkan Tabel 4.27 dapat diketahui bahwa, nilai Fhitung faktor A (kecepatan putaran spindel) dan faktor B (gerak makan) lebih kecil dari 2, sehingga tidak signifikan terhadap besarnya delaminasi. Karena memiliki nilai variasi yang kecil, maka nilai variasi dari faktor tersebut digabungkan dengan nilai variasi *error* (metode *pooling*).

**Tabel 4.28** ANOVA untuk Respon Delaminasi setelah Digabung (*Pooling*)

Source	Pool	DF	SS	MS	F
A	Y	2	0,000744	0,000372	-
B	Y	2	0,002011	0,001006	-
C		2	0,010278	0,005139	4,695724
Error	Y	11	0,013661	0,001242	-
Pooled		15	0,016416	0,001094	-
Mean		1	0,134444	-	-
Total		17	0,026694	-	-

Berdasarkan Tabel 4.28 akan didapatkan kisaran (*confidence interval*) dari dugaan rata-rata delaminasi pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan menggunakan persamaan (2.18) dan (2.17) maka banyak pengamatan yang efektif ( $n_{eff}$ ) dan *confidence interval* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 n_{eff} &= \frac{m \times k}{\frac{df_{mean} + df_c}{9 \times 2}} \\
 &= \frac{1 \times 2}{1 + 2} = 6 \\
 CI &= \sqrt{\frac{F_{1,df_{Error},\alpha} \text{ MSE}}{n_{eff}}} \\
 &= \sqrt{\frac{4,54 \times 0,001094}{6}} = 0,028777
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka didapatkan bahwa *confidence interval* dari dugaan rata-rata delaminasi pada tingkat kepercayaan 95% adalah  $0,1056558 < \mu_3 < 0,16323 \text{ mm}$ .

#### 4.4 Perbandingan Hasil Analisis Metode *hybrid* PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi

Membandingkan nilai optimum yang diperoleh dari analisis menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi bertujuan untuk mengetahui nilai mana yang lebih optimum dalam mendekati batas spesifikasi yang diberikan pada tiap respon. Taksiran nilai optimum pada metode *hybrid* PCA-



Taguchi berada pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$ . Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi juga mendapatkan hasil yang sama yaitu berada pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$ . Karena nilai optimum kedua metode berada pada kombinasi level yang sama, maka nilai mean dan SNR masing-masing respon adalah sama yang ditunjukkan pada Tabel 4.29 sebagai berikut.

**Tabel 4.29** Perbandingan Nilai Optimum *Hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi

No	Respon	Kondisi Optimum			
		<i>Hybrid</i> PCA-Taguchi		PCR-TOPSIS Taguchi	
		SNR	Mean	SNR	Mean
1	Gaya Tekan	-32,7192	43,41056	-32,7192	43,41056
2	Momen Torsi	2,984899	0,707667	2,984899	0,707667
3	Delaminasi	16,90379	0,134444	16,90379	0,134444

Berdasarkan persentase kontribusi *error* yang terlampir pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.21. Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan kontribusi *error* sebesar 7,40 %. Sedangkan dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan kontribusi *error* sebesar 9,08 %. Pada kedua metode, nilai kontribusi *error* kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar.

Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan koefisien determinasi yaitu sebesar 98,15% yang ditunjukkan pada Lampiran H. Hal itu menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel proses dapat menggambarkan variabilitas respon sebesar 98,15%, sedangkan 1,85% lainnya digambarkan oleh variabel lain yang belum dimasukkan dalam proses. Sedangkan dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan koefisien determinasi sebesar 97,73% yang ditunjukkan pada Lampiran O. Hal itu menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel proses dapat menggambarkan variabilitas respon sebesar 97,73%, sedangkan 2,27% lainnya digambarkan oleh variabel lain yang belum dimasukkan dalam proses. Sehingga berdasarkan nilai koefisien determinasinya, juga dapat diketahui dan disimpulkan

bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan nilai koefisien determinasi yang lebih besar dari pada menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi. Artinya dalam penelitian ini, metode *hybrid* PCA-Taguchi lebih baik dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi. Terdapat satu cara lagi yang digunakan untuk mengetahui metode mana yang lebih baik, yaitu melalui selang kepercayaan (*confidence interval*) taksiran rata-rata pada tiap responnya. Berdasarkan analisis pada subbab 4.2.6 dan 4.3.7 didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 4.30** Perbandingan *Confidence Interval Hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi

Metode	Respon	CI	Karakteristik
PCA-Taguchi	Gaya Tekan	$32,34692 < \mu_1 < 54,4742$	STB
	Momen Torsi	$0,66396 < \mu_2 < 0,75137$	STB
	Delaminasi	$0,105667 < \mu_3 < 0,163221$	STB
PCR-TOPSIS	Gaya Tekan	$32,34692 < \mu_1 < 54,4742$	STB
	Momen Torsi	$0,66396 < \mu_2 < 0,75137$	STB
	Delaminasi	$0,105667 < \mu_3 < 0,163221$	STB

Berdasarkan Tabel 4.30 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan *confidence interval* pada karakteristik *smaller the better*, metode *hybrid* PCA-Taguchi dan metode PCR-TOPSIS Taguchi memiliki nilai *confidence interval* yang sama. Hal ini disebabkan karena kondisi optimum kedua metode dicapai pada level faktor yang sama.

Berdasarkan empat kriteria yang digunakan sebagai pembanding yaitu nilai mean dan SNR masing-masing respon pada kondisi optimum, persentase kontribusi *error* serta koefisien determinasi maka metode *hybrid* PCA-Taguchi lebih baik dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi karena memiliki persen kontribusi *error* yang lebih kecil dan koefisien determinasi yang lebih besar.





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$  dengan faktor A (kecepatan putaran spindel) memberikan pengaruh terbesar pada level 3 (1250 rpm) yaitu sebesar 0,935598, faktor B (gerak makan) pada level 1 (0,07 mm per putaran) dan faktor C (sudut ujung pahat) pada level 3 ( $135^\circ$ ).
2. Menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang sama dengan metode *hybrid* PCA-Taguchi yaitu pada kombinasi level  $A_3B_1C_3$ .
3. Berdasarkan empat kriteria yang digunakan sebagai pembanding yaitu nilai optimum dan SNR masing-masing respon pada kondisi optimum, persentase kontribusi *error* serta koefisien determinasi maka metode *hybrid* PCA-Taguchi lebih baik dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi karena memiliki persen kontribusi *error* yang lebih kecil dan koefisien determinasi yang lebih besar.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan analisis dan pembahasan serta kesimpulan yang didapatkan, ada beberapa hal yang dapat menjadi rekomendasi baik untuk penelitian selanjutnya.

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat melakukan penambahan variabel proses atau respon seperti kekasaran permukaan, keausan tepi pahat, dan ketinggian

*burr* yang juga merupakan karakteristik kualitas yang dapat diukur dari proses permesinan mesin gurdi.

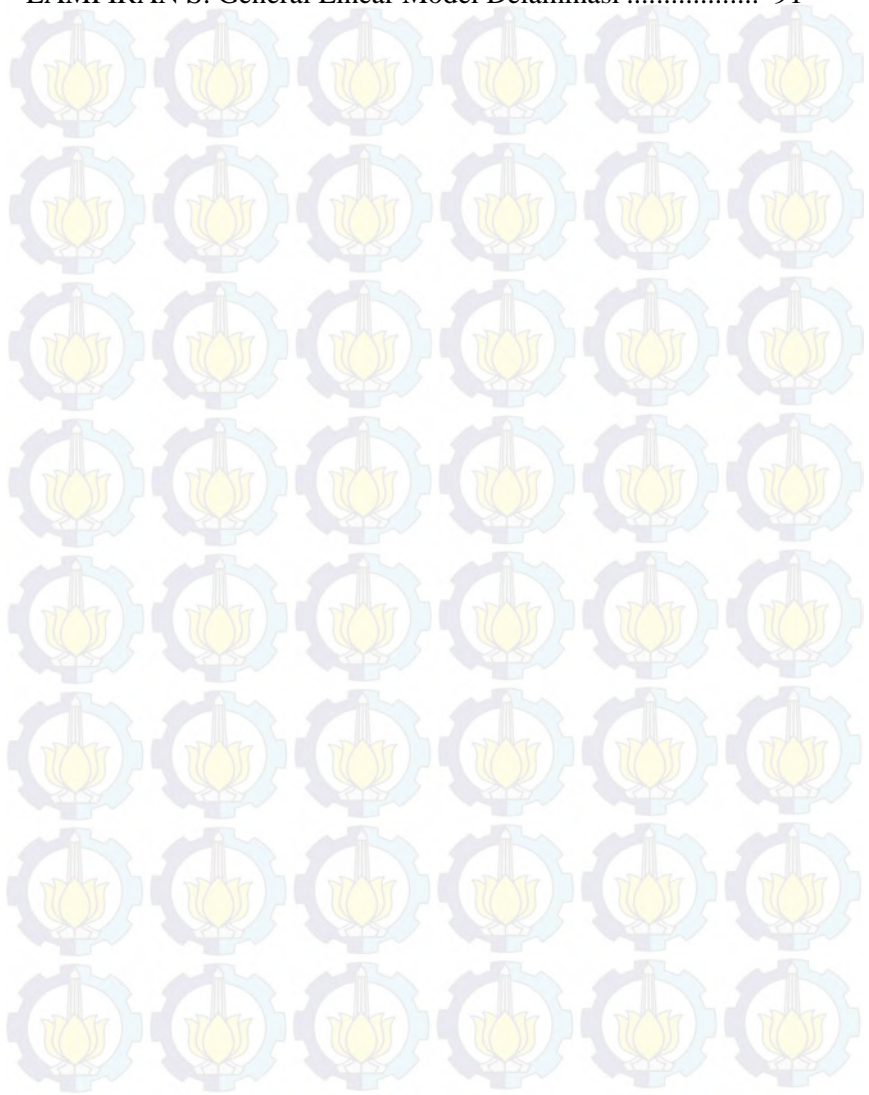
2. Dapat menggunakan karakteristik yang berbeda antar respon.
3. Faktor interaksi antar variabel proses seharusnya dipertimbangkan karena pada kasus ini variabel proses yang digunakan menyebabkan korelasi yang tinggi antar respon.

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A. Data Hasil Percobaan.....	73
LAMPIRAN B. Data Nilai Respon (Gaya Tekan, Momen Torsi dan Delaminasi).....	74
LAMPIRAN C. Uji Korelasi antar Respon dengan Minitab .....	75
LAMPIRAN D. <i>Macro</i> MINITAB untuk <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi.....	76
LAMPIRAN E. <i>Macro</i> MINITAB untuk <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi (Lanjutan).....	77
LAMPIRAN F. <i>Output</i> MINITAB untuk <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi.....	78
LAMPIRAN G. <i>Output</i> MINITAB untuk <i>Hybrid</i> PCATaguchi (Lanjutan).....	79
LAMPIRAN H. <i>Output</i> ANOVA dengan <i>Hybrid</i> PCA-Taguchi dengan MINITAB .....	80
LAMPIRAN I. <i>Box Plot</i> Rata-Rata tiap Variabel Proses pada Metode PCA-Taguchi dengan Minitab.....	81
LAMPIRAN J. <i>Macro</i> MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi.....	82
LAMPIRAN K. <i>Macro</i> MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi (Lanjutan).....	83
LAMPIRAN L. <i>Macro</i> MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi (Lanjutan).....	84
LAMPIRAN M. <i>Output</i> MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi.....	85
LAMPIRAN N. <i>Output</i> MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi (Lanjutan).....	86
LAMPIRAN O. <i>Output</i> ANOVA dengan PCR-TOPSIS Taguchi dengan MINITAB .....	87
LAMPIRAN P. <i>Box Plot</i> Rata-Rata tiap Variabel Proses pada Metode PCR-TOPSIS dengan Minitab.....	88
LAMPIRAN Q. General Linear Model Gaya Tekan .....	89



LAMPIRAN R. General Linear Model Momen Torsi ..... 90  
LAMPIRAN S. General Linear Model Delaminasi ..... 91



### LAMPIRAN A. Data Hasil Percobaan

No	Kombinasi Faktor			Gaya Tekan (N)		Momen Torsi (Nm)		Delaminasi	
	A	B	C	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 1	Replikasi 2
1	1	1	1	115.700	99.170	0.902	0.907	0.14	0.2
2	1	2	2	130.400	122.500	0.924	0.961	0.24	0.21
3	1	3	3	72.450	72.160	0.886	0.853	0.2	0.14
4	2	1	2	114.000	117.800	0.872	0.908	0.19	0.2
5	2	2	3	47.360	50.730	0.777	0.775	0.19	0.12
6	2	3	1	137.000	124.900	0.855	0.953	0.2	0.14
7	3	1	3	41.310	40.400	0.700	0.699	0.18	0.08
8	3	2	1	98.700	96.050	0.822	0.795	0.19	0.19
9	3	3	2	176.800	178.100	0.877	0.957	0.21	0.21

**LAMPIRAN B. Data Nilai Respon (Gaya Tekan, Momen Torsi dan Delaminasi)**

No	Kombinasi Faktor			Gaya Tekan (N)	Momen Torsi (Nm)	Delaminasi
	A	B	C			
1	1	1	1	107.435	0.905	0.170
2	1	2	2	126.450	0.943	0.225
3	1	3	3	72.305	0.870	0.170
4	2	1	2	115.900	0.890	0.195
5	2	2	3	49.045	0.776	0.155
6	2	3	1	130.950	0.904	0.170
7	3	1	3	40.855	0.700	0.130
8	3	2	1	97.375	0.809	0.190
9	3	3	2	177.450	0.917	0.210



**LAMPIRAN C. Uji Korelasi antar Respon dengan Minitab****Correlations: Y1, Y2, Y3**

	Y1	Y2
Y2	0.823 0.006	
Y3	0.791 0.011	0.790 0.011

**LAMPIRAN D. Macro MINITAB untuk Hybrid PCA-Taguchi**

```

macro
hybridpcataguchi y1 y2 y3 snr1 snr2 snr3 eigva eigve1 eigve2 eigve3 pc1
pc2 pc3 cpc snr
mcolumn y1 snr1 y2 y3 snr2 snr3 eigva eigve1 eigve2 eigve3 pc1 pc2 pc3
cpc snr
mconstant i n j k l max1 max2 max3 min1 min2 min3
mmatrix cov eigve
let max1=maxi(y1)
let min1= mini(y1)
let max2= maxi (y2)
let min2= mini (y2)
let max3= maxi (y3)
let min3= mini (y3)
let n = count(y1)
let n = count (y2)
let n =count (y3)
let j=0
do i=1:n
let j = j+1
let snr1(j)=(max1-y 1(i))/(max1-min1)
let snr2(j)=(max2-y 2(i))/(max2-min2)
let snr3(j)=(max3-y 3(i))/(max3-min3)
enddo
let j =count(snr1)
let j =count(snr2)
let j =count(snr3)
Covariance snr1 snr2 snr3 cov.
Eigen cov eigva eigve.
Copy eigve eigve1 eigve2 eigve3;
Varnames.
let k=0
do i=1:n
let k=k+1
let pc1(k) = snr1(i)*eigve1(1)+snr2(i)*eigve1(2)+snr3(i)*eigve1(3)
let pc2(k) = snr1(i)*eigve2(1)+snr2(i)*eigve2(2)+snr3(i)*eigve2(3)
let pc3(k) = snr1(i)*eigve3(1)+snr2(i)*eigve3(2)+snr3(i)*eigve3(3)
enddo

```

**LAMPIRAN E. Macro MINITAB untuk *Hybrid PCA-Taguchi*  
(Lanjutan)**

```

let k =count(pc1)
let k =count(pc2)
let k =count(pc3)
let l =0
do k=1:k
let l=l+1
let cpc(l)=sqrt((pc1(k))^2+(pc2(k))^2+(pc3(k))^2))
let snr(l)= -10*logten((cpc(l))^2))
enddo
let l =count(cpc)
let l = count(snr)
print max1 max2 max3 min1 min2 min3 snr1 snr2 snr3 cov eigva
eigve eigv1 eigve2 eigve3 pc1 pc2 pc3 cpc snr
endmacro

```



**LAMPIRAN F. Output MINITAB untuk Hybrid PCA-Taguchi**

```
%E:\hybridpcataguchi.txt c1-c15
```

**Data Display**

```
max1    177.450
max2    0.942500
max3    0.225000
min1    40.8550
min2    0.699500
min3    0.130000
```

**Matrix cov**

```
0.0991352  0.084611  0.0757146
0.0846114  0.106564  0.0784420
0.0757146  0.078442  0.0924131
```

**Matrix eigve**

```
-0.579226  0.280818  0.765270
-0.603688  0.483075 -0.634192
-0.547775 -0.829325 -0.110282
```

row	C4	C5	C6
1	0.512574	0.156379	0.578947
2	0.373367	0.000000	0.000000
3	0.769757	0.300412	0.578947
4	0.450602	0.216049	0.315789
5	0.940042	0.685185	0.736842
6	0.340422	0.158436	0.578947
7	1.000000	1.000000	1.000000
8	0.586222	0.551440	0.368421
9	0.000000	0.104938	0.157895

	eigve_1	eigve_2	eigve_3
0.258924	-0.579226	0.280818	0.765270
0.021084	-0.603688	0.483075	-0.634192
0.018105	-0.547775	-0.829325	-0.110282

**LAMPIRAN G. Output MINITAB untuk Hybrid PCA-Taguchi (Lanjutan)**

Row	C11	C12	C13	C14	C15
1	-0.70843	-0.260653	0.229236	0.78890	2.0595
2	-0.21626	0.104848	0.285726	0.37337	8.5573
3	-0.94435	-0.118852	0.334706	1.00894	-0.0773
4	-0.56441	-0.030987	0.172990	0.59114	4.5662
5	-1.36176	-0.016105	0.203587	1.37699	-2.7786
6	-0.60996	-0.308002	0.096189	0.69005	3.2224
7	-1.73069	-0.065432	0.020796	1.73205	-4.7712
8	-0.87427	0.125468	0.058269	0.88514	1.0597
9	-0.14984	-0.080253	-0.083964	0.18959	14.4439

## LAMPIRAN H. Output ANOVA dengan Hybrid PCA-Taguchi dengan MINITAB

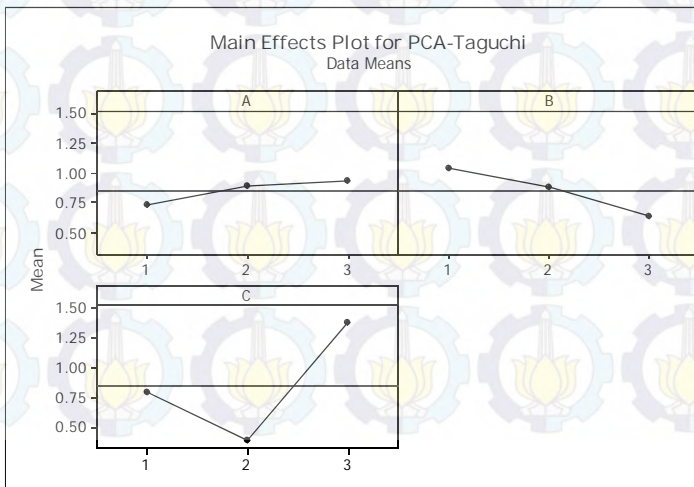
### General Linear Model: Hybrid PCA-Taguchi versus A, B, C

Faktor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1, 2, 3
B	fixed	3	1, 2, 3
C	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for CPC, using Adjusted SS for Tests

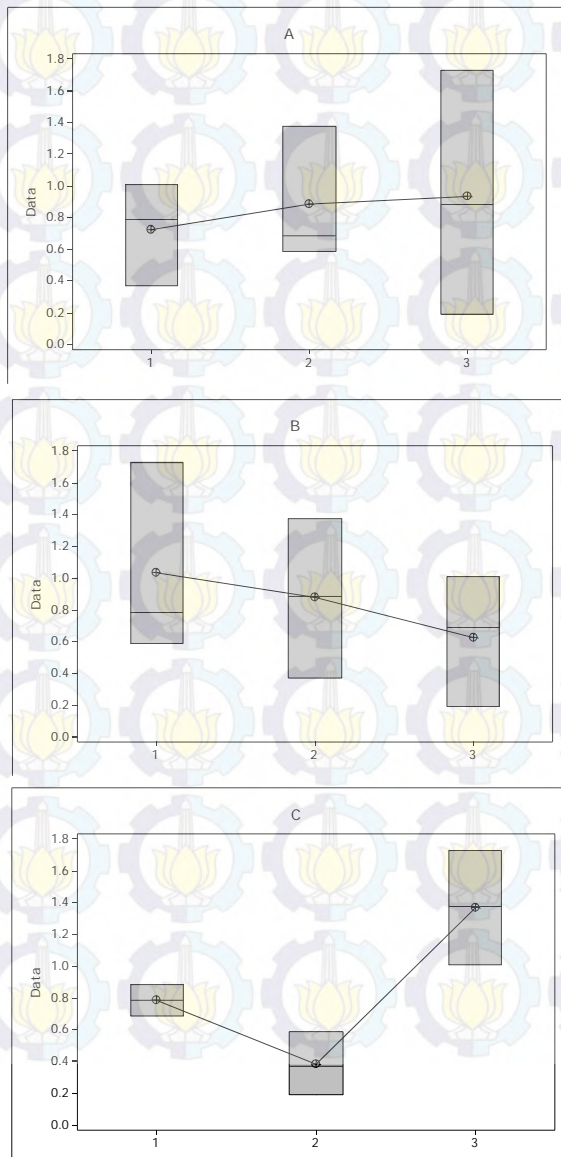
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.07369	0.07369	0.03684	2.16	0.316
B	2	0.25356	0.25356	0.12678	7.44	0.118
C	2	1.48053	1.48053	0.74027	43.45	0.022
Error	2	0.03408	0.03408	0.01704		
Total	8	1.84185				

S = 0.130529      R-Sq = 98.15%      R-Sq(adj) = 92.60%





**LAMPIRAN I. *Box Plot* Rata-Rata tiap Variabel Proses pada Metode *hybrid* PCA-Taguchi dengan Minitab**



**LAMPIRAN J. Macro MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi**

```

macro
pcrtopsistaguchi y1 y2 y3 y1k y2k y3k y1kr y2kr y3kr snr1 snr2 snr3 per1
per2 per3 dp1 dp2 dp3 dm1 dm2 dm3 dplus dmin pert
mco lumn y1 y2 y3 y1k y2k y3k y1kr y2kr y3kr snr1 snr2 snr3 per1 per2
per3 dp1 dp2 dp3 dm1 dm2 dm3 dplus dmin pert
mconstant i n j k m p l rs1 sum1 rs2 sum2 rs3 sum3 sig1 std1 sig2 std2 sig3
std3 q cmax1 cmax2 cmax3 cmin1 cmin2 cmin3 d r
let n=count(y1)
let n=count(y2)
let n=count(y3)
let j=0
do i=1:n
let j=j+1
let y1k(j) = (y1(i))^(2)
let y2k(j) = (y2(i))^(2)
let y3k(j) = (y3(i))^(2)
enddo
let j=count(y1k)
let j=count(y2k)
let j=count(y3k)
let k=0
let p=0
let m=j/2
do i=1:m
let i=p+1
let k=k+1
let y1kr(k)=((y1k(i))+y1k(i+1)))/2
let y2kr(k)=((y2k(i))+y2k(i+1)))/2
let y3kr(k)=((y3k(i))+y3k(i+1)))/2
let p=p+2
enddo
let k=count(y1kr)
let k=count(y2kr)
let k=count(y3kr)

```

**LAMPIRAN K. Macro MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi  
(Lanjutan)**

```

let l=0
do i=1:k
let l=l+1
let snr1(l)=-10*logten(y1kr(i))
let snr2(l)=-10*logten(y2kr(i))
let snr3(l)=-10*logten(y3kr(i))
enddo
let l=count(snr1)
let l=count(snr2)
let l=count(snr3)
let sum1=0
let sum2=0
let sum3=0
do i=1:l
let sum1=sum1+(snr1(i))
let sum2=sum2+(snr2(i))
let sum3=sum3+(snr3(i))
enddo
let rs1=sum1/(l-1)
let rs2=sum2/(l-1)
let rs3=sum3/(l-1)
let sig1=0
let sig2=0
let sig3=0
do i=1:l
let sig1=sig1+(snr1(i)-rs1)^2
let sig2=sig2+(snr2(i)-rs2)^2
let sig3=sig3+(snr3(i)-rs3)^2
enddo
let std1=sqrt((sig1)/(l-1))
let std2=sqrt((sig2)/(l-1))
let std3=sqrt((sig3)/(l-1))
let q=0
do i=1:l
let q=q+1
let pcr1(q)=(snr1(i)-rs1)/(3*std1)
let pcr2(q)=(snr2(i)-rs2)/(3*std2)
let pcr3(q)=(snr3(i)-rs3)/(3*std3)
enddo

```

**LAMPIRAN L. Macro MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi  
(Lanjutan)**

```

let q=count(pcr1)
let q=count(pcr2)
let q=count(pcr3)
let cmax1=maxi(pcr1)
let cmax2=maxi(pcr2)
let cmax3=maxi(pcr3)
let cmin1=mini(pcr1)
let cmin2=mini(pcr2)
let cmin3=mini(pcr3)
let d=0
do i=1:q
let d=d+1
let dp1(d)=(pcr1(i)-cmax1)^2
let dp2(d)=(pcr2(i)-cmax2)^2
let dp3(d)=(pcr3(i)-cmax3)^2
let dml(d)=(pcr1(i)-cmin1)^2
let dm2(d)=(pcr2(i)-cmin2)^2
let dm3(d)=(pcr3(i)-cmin3)^2
enddo
let d=count(dp1)
let d=count(dp2)
let d=count(dp3)
let d=count(dm1)
let d=count(dm2)
let d=count(dm3)
let r=0
do i=1:d
let r=r+1
let dplus(r)=sqrt(dp1(i)+dp2(i)+dp3(i))
let dmin(r)=sqrt(dm1(i)+dm2(i)+dm3(i))
let pcr=dmin/(dplus+dmin)
enddo
let r=count(dplus)
let r=count(dmin)
let r=count(pcr)
print y1k y2k y3k y1kr y2kr y3kr snr1 snr2 snr3 rs1 sum1 rs2 sum2 rs3
sum3 std1 std2 std3 pcr1 pcr2 pcr3 cmax1 cmax2 cmax3 cmin1 cmin2
cmin3 dp1 dp2 dp3 dml dm2
dm3 dplus dmin pcr
endmacro

```



### LAMPIRAN M. *Output* MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi

```
%E:/pcrtopsistaguchi.txt c1-c24
```

#### Data Display

```
rs1      -44.2878
sum1     -354.303
rs2       1.54605
sum2     12.3684
rs3       16.7484
sum3     133.987
std1      6.68553
std2      0.864363
std3      2.34599
cmax1     0.601417
cmax2     0.600902
cmax3     0.0530852
cmin1     -0.0345902
cmin2     -0.398502
cmin3     -0.541532
```

C4	C5	C6
13386.5	0.813604	0.0196
9834.7	0.822649	0.0400
17004.2	0.853776	0.0576
15006.3	0.923521	0.0441
5249.0	0.784996	0.0400
5207.1	0.727609	0.0196
12996.0	0.760384	0.0361
13876.8	0.824464	0.0400
2243.0	0.603729	0.0361
2573.5	0.600625	0.0144
18769.0	0.731025	0.0400
15600.0	0.908209	0.0196
1706.5	0.490000	0.0324
1632.2	0.488601	0.0064
9741.7	0.675684	0.0361
9225.6	0.632025	0.0361
31258.2	0.769129	0.0441
31719.6	0.915849	0.0441

**LAMPIRAN N. *Output* MINITAB untuk PCR-TOPSIS Taguchi  
(Lanjutan)**

C7	C8	C9	C10	C11	C12
11610.6	0.818126	0.02980	-40.6485	0.871795	15.2578
16005.2	0.888648	0.05085	-42.0426	0.512700	12.9371
5228.0	0.756302	0.02980	-37.1834	1.213045	15.2578
13436.4	0.792424	0.03805	-41.2828	1.010424	14.1965
2408.3	0.602177	0.02525	-33.8170	2.202758	15.9774
17184.5	0.819617	0.02980	-42.3514	0.863890	15.2578
1669.3	0.489300	0.01940	-32.2254	3.104243	17.1220
9483.6	0.653855	0.03610	-39.7698	1.845189	14.4249
31488.9	0.842489	0.04410	-44.9816	0.744358	13.5556
C13	C14	C15	C16	C17	C18
0.181450	-0.260020	-0.211785	0.176372	0.741187	0.0701561
0.111943	-0.398502	-0.541532	0.239584	0.998808	0.3535691
0.354219	-0.128420	-0.211785	0.061107	0.531911	0.0701561
0.149825	-0.206559	-0.362593	0.203935	0.651994	0.1727884
0.522063	0.253253	-0.109547	0.006297	0.120860	0.0264491
0.096549	-0.263068	-0.211785	0.254891	0.746445	0.0701561
0.601417	0.600902	0.053085	0.000000	0.000000	0.0000000
0.225266	0.115360	-0.330130	0.141490	0.235751	0.1468538
-0.03459	-0.309165	-0.453648	0.404505	0.828222	0.2567782
C19	C20	C21	C22	C23	C24
0.046673	0.019177	0.108733	0.99384	0.41783	0.29598
0.021472	0.000000	0.000000	1.26173	0.14653	0.10405
0.151173	0.072944	0.108733	0.81436	0.57693	0.41467
0.034009	0.036842	0.032019	1.01426	0.32073	0.24025
0.309862	0.424784	0.186611	0.39193	0.95982	0.71006
0.017198	0.018342	0.108733	1.03513	0.37983	0.26844
0.404505	0.998808	0.353569	0.00000	1.32547	1.00000
0.067525	0.264054	0.044691	0.72394	0.61341	0.45867
0.000000	0.007981	0.007724	1.22045	0.12532	0.09312

**LAMPIRAN O. Output ANOVA dengan PCR-TOPSIS Taguchi dengan MINITAB**

**General Linear Model: PCR-TOPSIS Taguchi versus A, B, C**

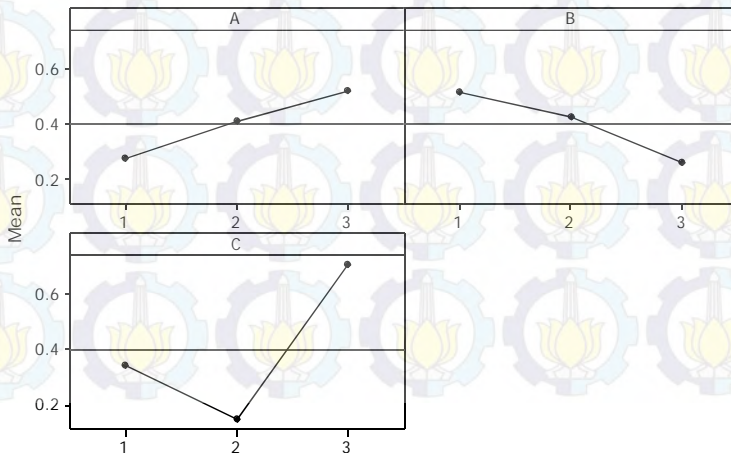
Faktor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1, 2, 3
B	fixed	3	1, 2, 3
C	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for PCR-TOPSIS, using Adjusted SS for Tests

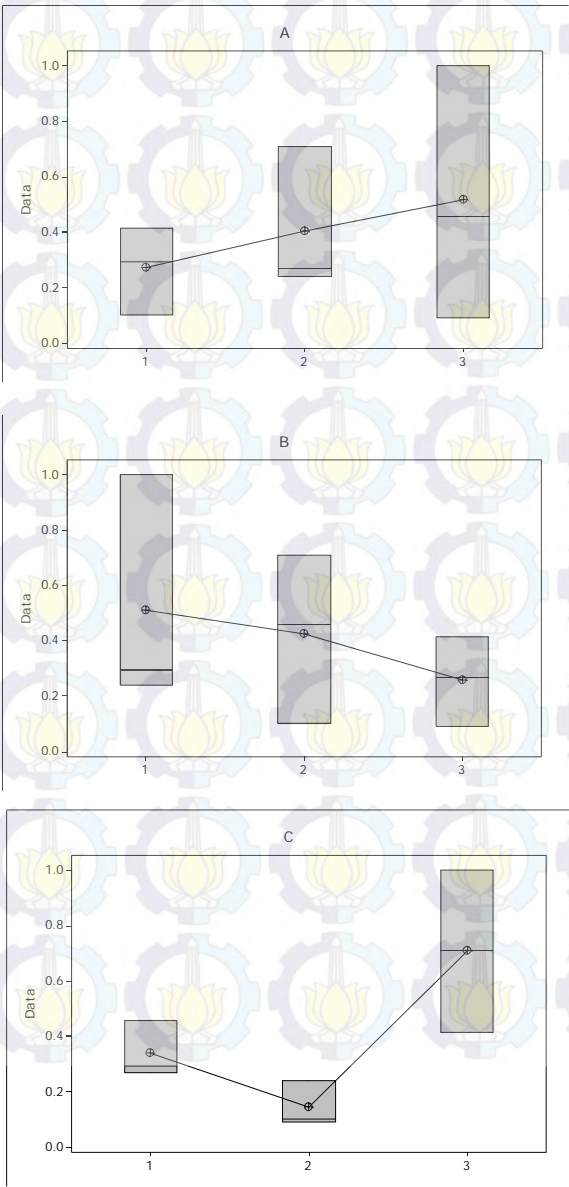
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.09083	0.09083	0.04541	5.76	0.148
B	2	0.09929	0.09929	0.04964	6.30	0.137
C	2	0.48929	0.48929	0.24465	31.02	0.031
Error	2	0.01577	0.01577	0.00789		
Total	8	0.69518				

S = 0.0888015    R-Sq = 97.73%    R-Sq(adj) = 90.93%

Data Means



**LAMPIRAN P. *Box Plot* Rata-Rata tiap Variabel Proses pada Metode PCR-TOPSIS Taguchi dengan Minitab**





### LAMPIRAN Q. General Linear Model Gaya Tekan

#### General Linear Model: Gaya tekan versus A, B, C

Faktor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1, 2, 3
B	fixed	3	1, 2, 3
C	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Gaya tekan, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	130.6	130.6	65.3	0.65	0.539
B	2	5617.7	5617.7	2808.8	28.17	0.000
C	2	23008.7	23008.7	11504.4	115.38	0.000
Error	11	1096.8	1096.8	99.7		
Total	17	29853.7				

S = 9.98526    R-Sq = 96.33%    R-Sq(adj) = 94.32%

**LAMPIRAN R. General Linear Model Momen Torsi****General Linear Model: Momen Torsi versus A, B, C**

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1, 2, 3
B	fixed	3	1, 2, 3
C	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Momen Torsi, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.028324	0.028324	0.014162	13.97	0.001
B	2	0.014763	0.014763	0.007381	7.28	0.010
C	2	0.056702	0.056702	0.028351	27.97	0.000
Error	11	0.011149	0.011149	0.001014		
Total	17	0.110939				

S = 0.0318360    R-Sq = 89.95%    R-Sq(adj) = 84.47%

### LAMPIRAN S. General Linear Model Delaminasi

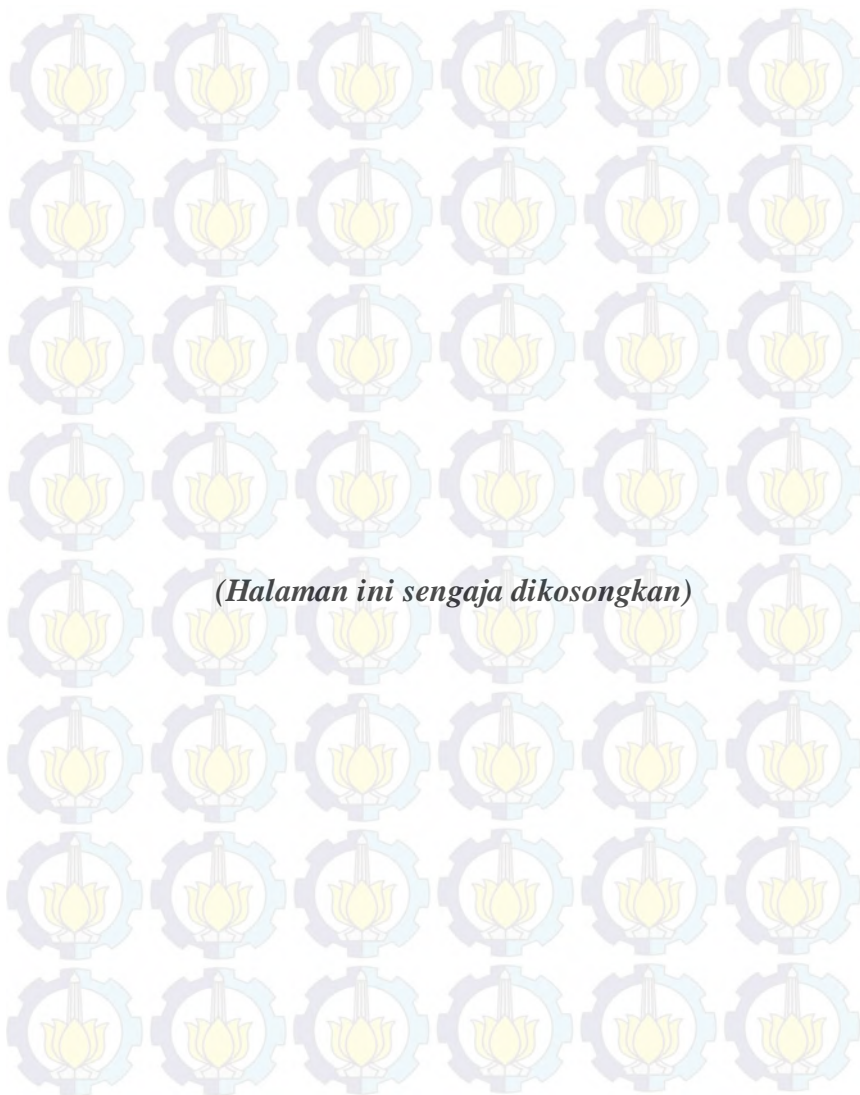
#### General Linear Model: Delaminasi versus A, B, C

Faktor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1, 2, 3
B	fixed	3	1, 2, 3
C	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Delaminasi, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.000744	0.000744	0.000372	0.30	0.747
B	2	0.002011	0.002011	0.001006	0.81	0.470
C	2	0.010278	0.010278	0.005139	4.14	0.046
Error	11	0.013661	0.013661	0.001242		
Total	17	0.026694				

S = 0.0352409    R-Sq = 48.82%    R-Sq(adj) = 20.91%





## DAFTAR PUSTAKA

- Arbi, M.H. (2012). *Penerapan Optimasi Multirespon Menggunakan Hybrid Principal Component Analysis-Taguchi pada Proses Turning Material Polyacetal*.
- Belavendram, N. (1995). *Quality by Design*. Great Britain : Prentice Hall International.
- Box, G. D. (1987). *Empirical Model Building and Response Surface*. Canada: Wiley.
- Callister. (2004). *Material Science and Engineering : An Introduction*. John Wiley & Sons: New York.
- Chiang, Y., Hsieh, H., (2009). *The Use of Taguchi Method with Grey Relational Analysis to Manufacturing, Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, pp 648-661.
- Datta, S., Nandi, G., Bandyopadhyay, A & Kumar, P. (2009). *Applicati on of PCA-Based Hybrid Taguchi Method for Correlated Multicriteria Optimization of Submerged arc Weld : a case study*. *international Journal Manufacturing Technology* 45:276-286.
- Faraz, A., Biermann, D., & Weinert, K. (2009). *Cutting Edge Rounding : An Inovative Tool Wear Criterion in drilling CFRP Composite laminates*. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 , 1185-1196.
- Fowlkes, W. Y. (1995). *Engineering methods for Robust Product Design (Using taguchi Methods in Technology and Product Development)*. Massachusetts : Addison Wesley Publishing Company.
- Hwang & Yoon. (1981). *Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* , 186.
- John, R. (2014). *Metode Taguchi PCR-TOPSIS untuk Optimasi Taguchi Multirespon*. *Statistika*, Vol 2, No1, Mei 2014.
- Park, S. (1996). *Robust Design and analysis for quality Engineering*. London: Chapman & Hall.

- Ramasegar, A., Souiyah, M., El-Tayeb, N.S.M. (2012). *Minimizing Push-Out Delamination in Glass Fiber Reinforced Polyester using RSM. International Journal of Applied Science and Technology*, Vol.2 No.3 March 2012.
- Ranganathan, S., Senthilvelan, T., & Gopalakannan, S. (2012). *Multiple Performance Optimization in Drilling of GFRP Composites Using Grey Analysis. IEEE International Conference on advances in engineering Science and Management*.
- Rao. (2004). *Evaluation of Metal Stamping Layout Using a Combined Multiple Attribute Decision Making Method. IE Journal-PR*.
- Rifalda, R. (2014). *Optimasi Multirespon gaya Tekan, Torsi dan Delaminasi pada Penggurdian Material Komposit Gelas 7781/ Epoxy dengan gabungan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA)*.
- Rochmah, A. (2012). *Optimasi Multirespon pada Metode Taguchi dengan Pendekatan Data Envelopment Analysis (DEA) Study Kasus Wire EDM*. Tugas Akhir: Perpustakaan ITS.
- Rochim, T. (1993). *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Jakarta : Higher Education Development Support Project.
- Ross, T. J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering : Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. New York: McGraw-Hill International Edition.
- Sanjari, M., Taheri, K., & Movahedi, M.R. (2009). *An Optimization Method for Radial Forging Process Using ANN and Taguchi Method. international Journal of Advanced Manufacturing Technology* , Vol 40, pp 776-784.
- Soejanto, I. (2009). *Design Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Srdjevic, B., Medeiros, P., & Faria, S. (2004). *An Objective Multi-Criteria Evaluation of water management*, 18 : 35-54.

- Sukthomya, W., & Tannock, J.D.T. (2005). *Taguchi Experimental Design for Manufacturing process Optimization Using Historical data and Network Process Model*. *International Journal of quality and Reliability Management* , Vol. 22 No 5, pp 485-502.
- Tong, L., & Su. (1997). *Optimizing Multi-Response Problems in the Taguchi Method by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. *Quality and Reliability Engineering Enviromental Science* , Vol. 13, Issue 1, PP 25-34.
- Vankanti, Vinod K & Ganta, V. (2013). *Optimisation of Process Parameters in Drilling of GFRP Composite using Taguchhi Method* . *jmaterrestechonol* , 35-41.
- Walpole,R E.(1995). *Pengantar Statistika Edisi ke 3*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Yeniay. (2001). *A Comparison of The Performances Between A Genetic Aloritm and The Taguchi Method Over Artificial Problems*. *Turkey Journal of Engineering Enviromental Science* , Vol 25, pp 561-568.
- Yildiz, A.R., Ozturk, N., Kaya, N. & Ozturk, F. (2007). *Hybrid multi-Objective Shape Design Optimization Using Taguchi's Method and Genetic Algorithm*, *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol. 34, Issue 4, pp 317-332.









## BIODATA PENULIS

Penulis dengan nama lengkap Chusnul Khotimah, lahir di Tulungagung 22 tahun silam. Anak kedua dari Suwono dan Surtini serta adik dari Deni Kristanto. Selama hidupnya, penulis telah menempuh pendidikan di SDN Kepuh II tahun 1999-2005, SMPN 1 Tulungagung tahun 2005-2008, SMAN 1 Kedungwaru tahun 2008-2011. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan study S1 di jurusan Statistika ITS.

Perjuangan adalah motivasi penulis selama menempuh pendidikan khususnya pada masa kuliah. Selama kuliah, penulis aktif di berbagai organisasi. Pada tahun kedua perkuliahannya, penulis bergabung di dua organisasi yaitu menjadi Staff Sosial Masyarakat HIMASTA-ITS 12/13 serta bergabung di BSO IECC BEM ITS 12/13. Di tahun ketiganya, penulis diamanahi sebagai Kadep SOSMAS HIMASTA-ITS 13/14. Selain itu penulis juga aktif di berbagai kepanitiaan, salah satunya adalah menjadi koordinator tim soal STATION 2013. Penulis juga aktif di dunia kepeemanduan, dari LKMM pra TD hingga menjadi Fasilitator dan Pemandu LKMM TM. Ada beberapa prestasi yang Alhamdulillah telah dicapai oleh penulis selama masa kuliah. Diantaranya adalah juara 2 Calculus Cup UNJ 2012, Juara 2 *National Statistics Challenge* (NSC) UB 2014, 1 PKM GT dan 5 PKM-P mendapatkan dana hibah dari Dikti. Penulis juga menjadi asisten dosen pada mata kuliah pengantar metode statistika dan statistika non parametrik. Untuk informasi maupun saran dari Tugas Akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis di [chusnul.its2011@gmail.com](mailto:chusnul.its2011@gmail.com) atau facebook penulis yaitu chusnul khotimah. Penulis juga dapat dihubungi di 085736958148.